



ZJIŠŤOVÁNÍ VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN Z FIRMY PARAMO, A.S. NA TECHNOLOGII SOUSTRUŽENÍ A JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU PŘI OBRÁBĚNÍ SLITINY HLINÍKU

Bakalářská práce

Studijní program: B2341 – Strojírenství
Studijní obor: 3911R018 – Materiály a technologie

Autor práce: Jan Šindelář
Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

INVESTIGATING THE IMPACT OF PROCESS FLUIDS FROM PARAMO, A.S. FOR THE TECHNOLOGY OF TURNING AND QUALITY OF THE MACHINED SURFACE DURING MACHINING OF ALUMINUM ALLOYS

Bachelor thesis

Study programme: B2341 – Engineering
Study branch: 3911R018 – Material and Technology

Author: Jan Šindelář
Supervisor: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.





ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení : Jan Š I N D E L Á Ř
Studijní program : B2341 Strojírenství
Obor : 3911R018 Materiály a technologie
Zaměření : Obrábění a montáž

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

**Zjišťování vlivu procesních kapalin z firmy PARAMO, a.s.
na technologii soustružení a jakost obrobeného povrchu
při obrábění slitiny hliníku**

Zásady pro vypracování :
(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Shrnutí poznatků o procesu soustružení slitin hliníku.
2. Rešerše literárních poznatků o vlivu procesních kapalin na soustružení slitin hliníku.
3. Návrh metodiky experimentů pro zkoumání vlivu posuzovaných procesních kapalin na proces soustružení slitin hliníku.
4. Realizace experimentů.
5. Hodnocení vlivu různých druhů procesních kapalin.
6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů.



Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva : cca 30 - 40 stran textu
- grafické práce : obrázky, tabulky a grafy - dle potřeby

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu) :

1. BUMBÁLEK, B., OŠTÁDAL, B., ŠAFR, E. *Řezné kapaliny*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1963. 136 s. ISBN -.
2. BÁTORA, B., VASILKO, K. *Obrobené povrchy, technologická dedičnost, funkčnost*. 1. vyd. Trenčín: Trenčianska univerzita a GC Tech - Ing. Peter Gerši, 2000. 184 s. ISBN 80-88914-19-1.
3. VIGNER, M., PŘIKRYL, Z., aj. *Obrábění*. Rec. J. Houdek, aj. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984. 808 s. ISBN -.
4. SANDVIK Coromant, Sandviken: Příručka obrábění - kniha pro praktiky. Překlad M. Kudela. -. vyd. 1997. 800 s. ISBN 91-972299-4-6.
5. *ČSN EN ISO 4287*. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999. Praha: Český normalizační institut.
6. *ČSN ISO 8688-1*. Testovanie trvanlivosti pri frézovaní, Časť 1: Rovinné frézovanie. 1993. Praha: Centrum služeb pro normalizaci.
7. HUŠEK, P. *Zjišťování vlivu procesních kapalin z firmy NOCC, a. s. Praha na technologii soustružení a jakost obrobeného povrchu. [Bakalářská práce]*. Liberec, TU v Liberci, 2012. 52 s.

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

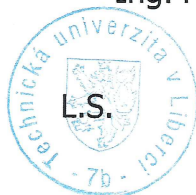
Konzultant/ti bakalářské práce:

Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Ing. Miloslav Ledvina



Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry



Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci, dne 04. 12. 2013

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 21. května 2014

Podpis:

Zjišťování vlivu procesních kapalin z firmy PARAMO, a.s. na technologii soustružení a jakost obrobeného povrchu při obrábění slitiny hliníku**ANOTACE:**

Bakalářská práce obsahuje informace o soustružení, slitinách hliníku, procesních kapalinách a drsnosti povrchu. Práce se zabývá vlivem jednotlivých procesních médií na soustružení slitiny hliníku, konkrétně duralu ČSN 424254. Vliv procesních médií je hodnocen z hlediska drsnosti povrchu (parametry Ra, Rz a c_{tp50}) a tvaru vzniklých třísek. Z výsledků vyplývá, že vliv hodnocených procesních kapalin od firmy PARAMO, a.s. na drsnost povrchu slitiny hliníku není příliš významný. V porovnání s procesní kapalinou vodou nebylo u parametru Ra dosaženo žádného zlepšení, u Rz byla hodnota maximálně o 12 % a u c_{tp50} maximálně o 19 % lepší. Vliv na tvar vzniklých třísek při užití hodnocených procesních médií není téměř žádný.

Klíčová slova: soustružení, slitiny hliníku, procesní kapaliny, drsnost povrchu, tvar třísek.

Investigating the impact of process fluids from PARAMO, a.s. for the technology of turning and quality of the machined surface during machining of aluminum alloys**ANNOTATION:**

The bachelor thesis contains information about turning, aluminum alloys, process fluids and surface roughness. This thesis deals with the influence of various process media for turning aluminum alloys, dural ČSN 424254 in particular. Influence of process media is evaluated in terms of surface roughness (Ra, Rz and c_{tp50}) and the resulting shape of chips. The results show that the influence of process fluids evaluated from Paramo, a.s. on the surface roughness of aluminum alloy is not very significant. In comparison with the process fluid water at Ra achieved no improvement. At Rz the value was at the most 12 % and at c_{tp50} improved at the most by 19 %. There is almost no influence on the shape of the chips generated during the use of investigational process media.

Keywords: turning, aluminum alloys, process fluids, surface roughness, the shape of chips.

PODĚKOVÁNÍ

Zde bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Doc. Ing. Janu JERSÁKOVI, CSc. za velmi věcné konzultace, důležité rady a jeho ochotu při tvorbě práce.

Dále děkuji konzultantům této bakalářské práce panu Prof. Ing. Alexey POPOVOVI, DrSc. a panu Ing. Miloslavovi LEDVINOVI za poskytnutou pomoc v laboratoři a věcné rady. Též děkuji panu Ing. Jiřímu KARÁSKOVI za pomoc v laboratoři metrologie a dalším pracovníkům katedry obrábění a montáže za pomoc při řešení vyskytlých problémů.

Také bych chtěl poděkovat celé své rodině za podporu a trpělivost projevenou v průběhu mého studia vysoké školy.

Jan Šindelář



Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1253**

Jméno a příjmení: **Jan ŠINDELÁŘ**

Vedoucí práce: Prof. Ing. Jan Jersák, CSc. - TUL
Konzultant: Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc. - TUL
Ing. Miloslav Ledvina - TUL

Počet stran: 66
Počet příloh: 17
Počet tabulek: 14
Počet obrázků: 17
Počet grafů: 4



Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	12
1 Úvod.....	13
2 Shrnutí poznatků o procesu soustružení	15
2.1 Soustružení.....	15
2.2 Soustruhy.....	15
2.3 Upínání obrobku	15
2.4 Řezné nástroje.....	16
2.4.1 Rozdělení soustružnických nožů podle různých hledisek	16
2.4.2 Nástrojové materiály	17
2.4.3 Opotřebení nástroje	17
2.4.4 Trvanlivost nástroje.....	17
2.5 Produktivita a hospodárnost obrábění	17
2.6 Řezné podmínky	18
2.7 Obrobitelnost	18
3 Slitiny hliníku a jejich soustružení.....	19
3.1 Rozdělení slitin hliníku	19
3.2 Obrobitelnost hliníku a jeho slitin	19
3.3 Hlavní problém při soustružení slitin hliníku.....	20
3.4 Řezné rychlosti při soustružení slitin hliníku	20
4 Procesní kapaliny a jejich vliv na soustružení slitin hliníku.....	21
4.1 Požadavky na procesní kapaliny.....	21
4.1.1 Chladicí účinek.....	21
4.1.2 Mazací účinek.....	22
4.1.3 Čisticí účinek.....	22
4.1.4 Provozní stálost	22
4.1.5 Ochranný účinek.....	22
4.1.6 Zdravotní nezávadnost	22
4.1.7 Nízké náklady	23
4.2 Rozdělení procesních kapalin.....	23
4.2.1 Vodní roztoky	23
4.2.2 Emulzní kapaliny.....	23

4.2.3 Mastné oleje a tuky	24
4.2.4 Minerální oleje	24
4.2.5 Řezné oleje	24
4.2.6 Syntetické a polysyntetické procesní kapaliny	24
4.3 Vliv procesních kapalin na soustružení slitin hliníku	25
5 Jakost povrchu	26
5.1 Drsnost povrchu a jeho profil	26
5.1.1 Parametry drsnosti povrchu Ra, Rz a c_{tp50}	27
6 Metodika experimentů	28
6.1 Popis strojů a pomůcek pro experimenty	28
6.1.1 Soustruh SU50	28
6.1.2 Zkušební vzorek	29
6.1.3 Nástroj	29
6.1.4 Procesní kapaliny	30
6.1.5 Nádoby na procesní kapaliny	31
6.1.6 Ruční refraktometr	31
6.1.7 Profiloměr MITUTOYO Surfes SV-2000	31
6.2 Výběr zkušební vzorku	32
6.3 Příprava procesní kapaliny	32
6.4 Upnutí nástroje	33
6.5 Upnutí zkušební vzorku na soustruh	34
6.6 Příprava přívodu procesní kapaliny k místě řezu	34
6.7 Úprava zkušební vzorku před začátkem experimentů	35
6.8 Návrh řezných podmínek	35
6.9 Výpočet času nástroje v záběru	35
6.10 Postup při obrábění	36
6.11 Metodika zkoumání vzniklých třísek	37
6.12 Metodika zkoumání drsnosti povrchu	37
6.13 Tabulka se shrnutím podmínek experimentů	40
7 Realizace experimentů	41
7.1 Příprava před experimentem	41
7.2 Postup soustružení zkušební vzorku	42
7.3 Postup měření drsnosti zkušební vzorku	43

8	Hodnocení vlivů různých druhů procesních médií.....	44
8.1	Hodnocení soustruženého úseku zkušební vzorku s přívodem procesní kapaliny vody	44
8.2	Hodnocení soustruženého úseku zkušební vzorku bez přívodu procesní kapaliny.....	45
8.3	Hodnocení soustruženého úseku zkušební vzorku s přívodem procesní kapaliny ESOK 1.0E	46
8.4	Hodnocení soustruženého úseku zkušební vzorku s přívodem procesní kapaliny ESOK 1.0D	48
8.5	Hodnocení soustruženého úseku zkušební vzorku s přívodem procesní kapaliny ESOK 1.1B	49
8.6	Hodnocení soustruženého úseku zkušební vzorku s přívodem procesní kapaliny ESOK 1.1F	50
9	Vyhodnocení dosažených výsledků	52
9.1	Porovnání výsledků parametru drsnosti Ra po soustružení slitiny hliníku s procesními médii.....	52
9.2	Porovnání výsledků parametru drsnosti Rz po soustružení slitiny hliníku s procesními médii.....	53
9.3	Porovnání výsledků parametru drsnosti c_{tp50} po soustružení slitiny hliníku s procesními médii.....	53
9.4	Porovnání tvarů třísek po soustružení slitiny hliníku s různými procesními médii	54
10	Závěr.....	55
	Seznam použité literatury.....	60
	Seznam obrázků	64
	Seznam tabulek a grafů	65
	Seznam příloh	66

Seznam použitých symbolů a zkratk

Symbol, zkratka	Jednotka	Popis
Ra	[μm]	střední aritmetická úchylka profilu
Rz	[μm]	maximální úchylka profilu
C _{tp50}	[μm]	nosný podíl posuzovaného profilu padesát procent
l	[mm]	délka obrobku
d	[mm]	průměr obrobku
v _c	[m/min]	řezná rychlost
f	[mm/ot]	posuv na otáčku
a _p	[mm]	hloubka řezu
K _{REF}	[% Brix]	údaj koncentrace na refraktometru
K _{SKUT}	[%]	skutečná (požadovaná) koncentrace
r _i	[-]	refrakční index
n _m	[ot/min]	otáčky za minutu
n _s	[ot/s]	otáčky za sekundu
m	[mm]	úsek na zkušebním vzorku
o	[-]	počet otáček
t	[s]	čas nože v záběru
s	[-]	výběrová směrodatná odchylka
\bar{x}	[-]	aritmetický průměr
x _i	[-]	jedna hodnota
n	[-]	počet hodnot
i	[-]	číslo měření
t ₉₅	[-]	studentova hodnota pro úroveň spolehlivosti 95 %
PK		procesní kapalina
ZV		zkušební vzorek
IT		třída přesnosti

1 Úvod

Jednou z nejvyžívanějších metod strojního obrábění je soustružení [1], [2]. Touto metodou se vyrábí až 40 % rotačních součástí. S rostoucími požadavky na jakost a tím i kvalitu povrchu obrobku souvisí vývoj procesních kapalin, které mohou tyto vlastnosti povrchu pozitivně ovlivnit.

V předložené bakalářské práci je zkoumán vliv vybraných procesních kapalin z portfolia firmy PARAMO, a.s. na obrobený povrch slitiny hliníku ČSN 424254 (dural) po soustružení na čisto. Konkrétně na parametry drsnosti R_a (střední aritmetická úchylka profilu), R_z (maximální úchylka profilu) a C_{tp50} (nosný podíl posuzovaného profilu padesát procent). Dále je zkoumán také vliv těchto vybraných procesních kapalin na tvorbu třísek, konkrétně na jejich tvar.

To vše se zrealizovalo na základě projektu technologické agentury České republiky (TAČR). Projekt se nazývá “Ekologické obráběcí kapaliny nové generace”. Číslo tohoto projektu je TA2-1332 a období řešení projektu je od ledna 2012 do prosince 2014.

Hodnocené procesní kapaliny od firmy PARAMO, a.s. jsou:

- ESOK 1.0E (obsahuje polyalkylenglykol nižší viskozity),
- ESOK 1.0D (obsahuje polyalkylenglykol střední viskozity),
- ESOK 1.1B (obsahuje směs polyalkylenglykolů střední a nižší viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na esterech kyseliny fosforečné),
- ESOK 1.1F (obsahuje polyalkylenglykol velmi vysoké viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na esterech kyseliny fosforečné).

Tyto vybrané procesní kapaliny jsou syntetické, na bázi vody a obsahují korozní inhibitor, biocidní a protipěnovostní systém. V závorkách jsou uvedeny jejich rozdílné přísady. Všechny se používají v koncentraci 5 % podle doporučení výrobce PARAMO, a.s. Pro porovnání byla použita procesní média:

- voda,
- vzduch.

V úvodní části bakalářské práce je nejprve zpracování teoretické části, kde jsou shrnuty základní pojmy o soustružení, slitinách hliníku, procesních kapalinách a jakosti povrchu, kde je zaměřeno na drsnost povrchu a měření jeho parametrů

Ra, Rz a c_{tp50} . Následuje část metodiky, ve které je popsán postup experimentů. Další částí je samotná realizace experimentů. Poslední částí je porovnání a vyhodnocení vlivu všech zkoumaných procesních médií na soustružený povrch.

Všechny experimenty byly provedeny v laboratořích katedry obrábění a montáže Technické univerzity v Liberci.

Hlavním cílem bakalářské práce je porovnání jednotlivých procesních kapalin od firmy PARAMO, a.s. Jednak mezi sebou a také vzhledem k soustružení s procesní kapalinou vodou a bez procesní kapaliny, nebo-li na sucho. Porovnávací parametry jsou parametry drsnosti Ra, Rz a c_{tp50} soustruženého povrchu. Dalším porovnávacím parametrem byl vliv na tvar vzniklých třísek. Posledním cílem je výběr nejvhodnější procesní kapaliny na soustružení slitiny hliníku ČSN 424254 (dural) a vyvození závěrů.

2 Shrnutí poznatků o procesu soustružení

2.1 Soustružení

Soustružení je jeden ze základních druhů třískového obrábění [1]. Spočívá v odebrání materiálu jednobřítým nástrojem nazývaným soustružnický nůž na stroji zvaném soustruh. Při tomto třískovém obrábění je hlavní řezný pohyb rotační a koná ho obrobek. Vedlejší pohyb (přisuv a posuv) vykonává nástroj, soustružnický nůž. Tímto způsobem obrábění se vyrábí až dvě pětiny rotačních součástí [2]. Lze obrábět vnější a vnitřní válcové i kuželové plochy, tvarové plochy i obecné (soudkovité, podsoustružené zuby fréz apod.) [3]. Na soustruzích lze vrtat, vystružovat, řezat závit, soustružit rovinné i kulovité plochy. Kromě toho lze na nich konat zvláštní práce jako vroubkování a válečkování.

2.2 Soustruhy

Jeden z největších podílů obráběcích strojů používaných ve strojírenské výrobě tvoří soustruhy [4]. Vyskytují se rovněž ve velkém počtu typů a vykazují velký počet stupňů automatizace.

Můžeme je rozdělit dle dvou základních hledisek. První nazýváme konstrukčně technologické hledisko. Sem řadíme hrotové, čelní, revolverové, svislé a speciální soustruhy. Druhé je z hlediska řízení pracovního cyklu. Sem patří soustruhy ovládané ručně, poloautomaty, automaty a řízené programově.

Mezi základní části většiny soustruhů patří lože, vřeteník, koník, saně, suport, suportová skříň, posuvová a závitová převodovka, elektromotor [5].

2.3 Upínání obrobku

Upnutí obrobku závisí na mnoha faktorech [6]. Především na jeho tvaru a na poměru délky l k průměru d . Další důležité parametry jsou hmotnost obrobku, požadovaná přesnost soustružení a druh soustruhu.

Hlavním úkolem upínacího zařízení je přenést krouticí moment na obrobek a také zachycovat řezné síly.

Obrobek můžeme upnout mezi hroty, do sklíčidla, na lícní desku nebo do samosvěrného sklíčidla a kleštiny.

Upnutí mezi hroty se používá u obrobků s poměrem $l/d > 2 - 3$. Jeden hrot je ve vřetenu a druhý v koníku. Při tomto upnutí musí být obrobek opatřen středicími důlky na obou jeho koncích. Krouticí moment se přenáší unášecím srdcem. Delší obrobky se navíc podpírají lunetou.

Upnutí do sklíčidla se využívá při menším nároku na přesnost výsledného obrábění. Sklíčidla jsou tři nebo čtyř čelistová. Jejich nevýhodou je, že se nemůže obrobit celý povrch obrobku jednou operací.

Lícni desky se používají pro obrobky složitých tvarů a pro soustružení mimo osu obrobku.

Samosvěrná sklíčidla a kleštiny se nachází u automatů a poloautomatů.

2.4 Řezné nástroje

Řezný nástroj je pevně upnut do posuvné části stroje, jímž je suport nebo koník [7]. Nejčastěji používaným nástrojem u soustružení je soustružnický nůž. Ten se upíná do nožové hlavy, která je otočná a můžou se do ní upnout pomocí šroubů a podložek až 4 nože [3]. Některé nožové hlavy jsou řešeny jako revolverové. Umožňují tak upnutí více nástrojů seřazených dle výrobního postupu.

Soustružnický nůž je jednobřitý nástroj [8]. Nejčastěji má hranolovitou upínací část a řeznou část ve tvaru klínu. Dalšími nástroji jsou vrtáky, výhrubníky, výstružníky, které se upínají do koníku.

2.4.1 Rozdělení soustružnických nožů podle různých hledisek [2], [9]

- a) Podle tvaru obráběné plochy: na vnější a vnitřní,
- b) podle konstrukce: na celistvé nože, s pájenou břitovou destičkou a s vyměnitelnou břitovou destičkou,
- c) podle materiálu břitu nože: s břity z rychlořezné oceli, ze slinutých karbidů, z řezné keramiky a ze supertvrdých materiálů,
- d) podle orientace ostří: pravé, levé a souměrné,
- e) podle tvaru tělesa nože: přímé a ohnuté,
- f) podle tvaru a jeho upnutí: radiální, tangenciální, kotoučové a prizmatické,
- g) podle způsobu obrábění: ubírací, hladicí, zapichovací a upichovací, závitové, a tvarové,
- h) podle druhu obráběcího stroje: soustružnické, revolverové a automatové.

2.4.2 Nástrojové materiály

Řezná část nástroje (případně celý nástroj) je zhotovena z nástrojového materiálu [10]. Jeho význam je charakterizován náročnými požadavky, ve kterých břit nástroje pracuje [11]. Při obrábění bývají vystaveny intenzivnímu mechanickému a tepelnému namáhání. To vede k otupování břitu, případně i k celkové destrukci. Tyto nástrojové materiály rozhodujícím způsobem ovlivňují produktivitu, výrobní náklady a kvalitu výroby.

K základním požadavkům na nástrojový materiál patří jeho tvrdost, pevnost v ohybu, houževnatost a odolnost proti otěru. Tyto vlastnosti si musí nástrojový materiál zachovat i při vysokých teplotách po dostatečně dlouhou dobu. Jako řezné materiály se využívají zejména nástrojové oceli, slinuté karbidy, cermety, řezná keramika, polykrystalický kubický nitrid bóru a polykrystalický diamant [10].

2.4.3 Opotřebení nástroje

Největší opotřebení nástroje vzniká na ploše hřbetu a čele [11]. Zapříčiňuje to kombinace mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů. Mezi nejčastější opotřebení patří: abraze, adheze, difúze, oxidace, plastická deformace, křehký lom.

2.4.4 Trvanlivost nástroje

Trvanlivost nástroje je doba v minutách, po kterou je schopen nástroj za daných podmínek pracovat, než dojde k přípustnému otupení. To se posuzuje podle šířky opotřebené plochy na hřbetu nástroje vznikající otěrem.

Hlavní tři parametry ovlivňující trvanlivost nástroje jsou: řezná rychlost (v_c), velikost posuvu (f) a hloubka řezu (a_p) [12]. Nejméně ovlivňuje trvanlivost hloubka řezu. Větší vliv má velikost posuvu, ale z daleka největší dopad na trvanlivost nástroje má řezná rychlost.

2.5 Produktivita a hospodárnost obrábění

Produktivita a hospodárnost obrábění je téma, které s přibývajícím časem je stále více řešené [13]. Už se nezabývá pouze kvalitou výrobku, což je tvarová a rozměrová přesnost a jakost obrobené plochy, ale také hospodárností jeho

výroby. To znamená dosáhnout požadované kvality výrobku za co nejmenších nákladů na výrobu. Proto se zavedl pojem optimální řezné podmínky. To jsou takové řezné podmínky, se kterými se snaží dosáhnout na daném stroji, s daným řezným nástrojem nejekonomičtější výroby, ale současně se splní požadavky na kvalitu výrobku.

Produktivitou nebo-li efektivností se rozumí, kolik výrobků nebo obrobků se vyrobí za jednotku času. Může se zvyšovat zvětšením řezné rychlosti, posuvu nebo hloubky řezu, ale ovlivňuje se tím potě hospodárnost.

2.6 Řezné podmínky

Řezné podmínky se můžou formulovat jako souhrn všech činitelů, které mají vliv na průběh obrábění [9]. Základními řeznými podmínkami jsou: řezná rychlost (v_c), posuv (f) a hloubka řezu (a_p). Značným způsobem však průběh obrábění ovlivňuje také: řezný materiál, druh obráběného materiálu, velikost a tvar průřezu třísky, geometrie nástroje, chlazení a mazání, celková tuhost obráběcí soustavy (stroj, nástroj, obrobek, přípravek).

Snaží se dosáhnout co nejoptimálnějšího obrábění, a proto je třeba znát jednotlivé podmínky obrábění, jejich vzájemný vztah a výsledný účinek na vlastní průběh obrábění.

2.7 Obrobitelnost

Obrobitelnost je jednou z nejdůležitějších technologických vlastností vyjadřující schopnost materiálu být obráběn konkrétním způsobem [11]. Je hlavním faktorem pro určení řezných podmínek a pro funkci nástroje. Obrobitelnost záleží na mnoha činitelích, z nichž nejdůležitější jsou:

- způsob výroby a tepelné zpracování obráběného materiálu,
- mikrostruktura obráběného materiálu,
- chemické složení obráběného materiálu,
- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- metoda obrábění,
- pracovní prostředí,
- geometrie nástroje,
- druh a vlastnosti nástrojového materiálu.

3 Slitiny hliníku a jejich soustružení

Od konce devadesátých let rapidně narůstá výroba a spotřeba hliníku, která ve světě nemá obdobu [14]. Je to především kvůli jeho slitinám, které mají velmi dobré mechanické vlastnosti a přitom malou hmotnost například oproti oceli, kterou slitiny hliníku čím dál častěji nahrazují [15]. Ale nahrazují i další materiály.

S tím také narůstá potřeba tyto slitiny opracovávat, obrábět. Slitiny hliníky jsou obecně dobře obrobitelné. Při obrábění nedělají problém jejich mechanické vlastnosti, ale vytváření nárůstu na břitu a utváření třísek. Při hodnocení obrobitelnosti to vyžaduje v porovnání s ocelí nebo litinou zcela odlišný přístup.

3.1 Rozdělení slitin hliníku

Podle způsobu zpracování se slitiny hliníku dělí na [16], [35]:

- slitiny pro odlévání,
- slitiny pro tváření.
- Slitiny hliníku pro odlévání nejsou vytvrditelné a patří mezi ně slitiny hliníku s: křemíkem (siluminy), křemíkem a mědí, křemíkem a hořčíkem, mědí, hořčíkem.
- Slitiny hliníku pro tváření se dále dělí na:
 - a) vytvrditelné, to jsou slitiny hliníku s: mědí a hořčíkem (dural), hořčíkem a křemíkem, zinkem a hořčíkem,
 - b) nevytvrditelné, to jsou slitiny hliníku s : hořčíkem, manganem.

Duraly dosahují značné pevnosti po vytvrzení. Jejich předností je přirozené stárnutí (vytvrzení), ale nevýhodou je malá odolnost proti korozi. Ta se zvyšuje povlakováním. Využívají se například v automobilovém průmyslu na součásti, které pracují za běžných teplot.

3.2 Obrobitelnost hliníku a jeho slitin

Hliník jako čistý prvek je velmi měkký a houževnatý a tím pádem i velice špatně obrobitelný [4]. Jeho obrobitelnost se zlepší tvářením za studena, v podobě válcování a tažení jeho polotovarů.

Obrobitelnost slitin hliníku závisí na jejich chemickém složení, na technologickém a tepelném zpracování. Nejlépe obrobitelné jsou lité, tepelně zpracované slitiny hliníku, o něco hůře lité, tepelně nezpracované slitiny. Ještě horší obrobitelnost mají tvářené, tepelně nezpracované slitiny a nejhůře obrobitelné jsou tvářené, tepelně zpracované slitiny hliníku. Výjimku tvoří tvářená slitina s 0,5 % olova, 0,5 % vizmutu a 5 % mědi, která je dobře obrobitelná i na automatech. Pro docílení kvalitnější obrobené plochy a přesnosti rozměrů jsou lepší tepelně zpracované slitiny, lité i tvářené.

Prvky, které se do slitin přidávají a jsou v základní hmotě hliníku rozpuštěny, jeho obrobitelnost většinou zlepšují. Pokud je jejich obsah větší, vytvářejí v hliníku samostatnou fázi a obrobitelnost poté zpravidla zhoršují.

3.3 Hlavní problém při soustružení slitin hliníku

Při soustružení slitin hliníku je hlavním problémem vytváření nárůstku na břitu nástroje, který ovlivňuje jeho geometrii, mění skutečné rozměry obrobku, zhoršuje strukturu obrobené plochy, popřípadě způsobuje samobuzené kmitání soustavy stroj – nástroj – obrobek [17], [11]. Tomuto problému, vytváření nárůstku na břitu, se snaží předejít například aplikováním kluzné vrstvy na nástroj nebo takové, které nepodporují vznik nárůstku. Další možností je zvýšení řezné rychlosti, aby se zvýšila teplota v místě řezu a tím se předcházelo jeho vzniku [18].

3.4 Řezné rychlosti při soustružení slitin hliníku

Řezné rychlosti při soustružení slitin hliníku jsou vyšší oproti soustružení ocelí [19]. V tabulce 1 jsou uvedeny orientační hodnoty řezných rychlostí.

Druh soustružení	Nástrojový materiál	
	RO	SK
Hrubování	do 90 m / min	do 300 m / min
Na čisto	do 120 m / min	do 500 m / min

Tab. 1. Orientační hodnoty řezných rychlostí pro soustružení slitin hliníku

Jiné publikace uvádí ještě vyšší řezné rychlosti pro soustružení slitin hliníku. Jsou dokonce až dvojnásobně vyšší.

4 Procesní kapaliny a jejich vliv na soustružení slitin hliníku

Prostředí v oblasti řezání má podstatný vliv na kvantitativní, kvalitativní a ekonomické parametry řezného procesu [11]. Pro konkrétní případ obrábění může zvolené optimální řezné prostředí zvýšit hospodárný úběr až o 50 % v porovnání s obráběním za sucha [4].

Řezné prostředí je vytvářeno procesními médii: kapalinami, mlhami, plyny a pastami [11]. Všechna tato média mají hlavní úkol zvýšit hospodárnost obrábění [20]. To znamená dosáhnout dobré jakosti povrchu a dlouhé trvanlivosti nástroje.

Požadavky na tyto média jsou především: chladicí, mazací a čisticí účinek. Ale média musí splňovat i parametry jako jsou: provozní stálost, ochranný účinek, zdravotní nezávadnost a v neposlední řadě nízké náklady.

Při soustružení hliníku je hlavní požadavek účinný odvod tepla z místa řezu, aby teplo neunikalo do obrobku a tím nesnižovalo přesnost soustružení. Proto je nejvhodnější médium kapalina.

4.1 Požadavky na procesní kapaliny

4.1.1 Chladicí účinek

Chladicím účinkem se rozumí schopnost procesní kapaliny (PK) odvádět teplo z místa řezu [20]. Tuto schopnost má každá PK, která smáčí povrch obrobku, pokud existuje tepelný spád mezi povrchem obrobku a PK. Chladicí účinek je potřeba tím víc, čím je větší teplota v místě řezu. To především kvůli ochlazení obrobku, nejen aby se nesnižovala přesnost obrábění, díky tepelné roztažnosti obrobku, ale také aby nevznikala nepříznivá integrita obrobeného povrchu. Nástroje jsou většinou z velmi odolných materiálů, které i za vyšších teplot neztrácejí své řezné vlastnosti. To jsou například slinuté karbidy. Pokud jsou používány nástroje z nástrojové a rychlořezné oceli, tak i zde má velký vliv chladicí účinek, zásluhou něhož se můžou použít vyšší řezné podmínky.

4.1.2 Mazací účinek

Cílem PK v souvislosti s mazacím účinkem je snížit tření mezi nástrojem a obrobkem, případně nástrojem a třískou a tím dosáhnout menších řezných odporů, řezné síly a i spotřebě energie [21]. Důsledkem snížení tření je snížení teploty v místě řezu, zvýšení plynulosti obrábění, zlepšení tvorby třísky a v neposlední řadě zlepšení jakosti povrchu. Na základě těchto vlastností je mazací účinek požadován hlavně u dokončovacích operacích, jako je například soustružení na čisto.

4.1.3 Čisticí účinek

Čisticí účinek PK se zakládá především na odstranění třísek z místa řezu [11]. Dále by měla PK zamezovat zanesení nástroje [21]. To je velmi důležité při broušení, protože při zanesení brusného kotouče, ztrácí kotouč schopnost obrábět.

4.1.4 Provozní stálost

Měřítkem provozní stálosti PK je doba výměny [11]. Čím delší je doba mezi výměnou PK, tím menší jsou na ni náklady [20]. Na základě toho je po PK požadováno, aby po celou dobu používání se neměnily fyzikální ani chemické vlastnosti. Dále je požadavek malé odpařivosti, aby se snížily vypařovací ztráty.

4.1.5 Ochranný účinek

PK musí být navržena tak, aby nezpůsobovala korozi kovů (stroj, nástroj), nenapadala obráběný materiál, nerozpouštěla nátěry obráběcích strojů a nebyla agresivní vůči gumovým těsněním [20]. Naopak by měla zajistit konzervaci stroje, nástroje a obrobku [21]. Obrobek se poté nemusí mezi jednotlivými operacemi konzervovat a čistit.

4.1.6 Zdravotní nezávadnost

Zdravotní nezávadnost PK je velmi důležitá, protože obsluha stroje je s ní stále ve styku [22]. Kontakt obsluhy s PK může být přes pokožku, například při přenášení obrobku a jeho upínání, při seřizování a čištění stroje a nástroje apod. [21]. Nebo sliznicemi, kdy se může vdechnout v podobě rozprášené a odpařené PK. Tyto PK také nemají zamořovat prostředí nepříjemným zápachem [20].

4.1.7 Nízké náklady

Velmi podstatnou stránkou PK jsou náklady. Ty jsou jednak spojeny s pořizovací cenou, údržbou, ale také s likvidací PK [23]. Při výběru PK se musí zvážit její vliv na proces obrábění (trvanlivost a ostření nástroje, jakost obrobku a spotřebu energie). A potom zhodnotit PK vzhledem k provozní stálosti, spotřebě a výměně.

4.2 Rozdělení procesních kapalin

Procesní kapaliny se v moderní době už nerozdělují na chladicí kapaliny s převažujícím chladicím účinkem a na řezné oleje s převažujícím mazacím účinkem, protože nyní se už výrobci snaží vyrábět PK s oběma účinky zároveň [22]. Proto by se PK daly rozdělit takto:

- vodní roztoky,
- emulzní kapaliny,
- mastné oleje a tuky,
- minerální oleje,
- řezné oleje,
- syntetické a polosyntetické kapaliny.

4.2.1 Vodní roztoky

Vodní roztoky jsou nejjednodušší PK [22]. Výhodami jsou snadná dostupnost vody a její nízká cena. Nevýhodou je, že se musí do těchto roztoků přidávat řada přísad, kvůli nepříznivým vlastnostem vody. Přísady na změkčování vody, proti korozi, pro zlepšení smáčivosti a proti pěnivosti. Také u těchto roztoků vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které mají za následek tvorbu kalu a nepříjemný zápach.

4.2.2 Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny jsou disperzní soustavou dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky rozptýlené v kapalině druhé [24]. Obvykle se jedná o olej ve vodě [22]. Přitom je nutné použít další složky tzv. emulgátory. Tyto látky zmenšují mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin

a stabilizují emulzi, která do určité míry spojuje přednosti vody a mazacích olejů. Emulzní kapaliny zahrnují asi 80 % všech používaných PK.

4.2.3 Mastné oleje a tuky

Mastné oleje a tuky jsou látky živočišného a rostlinného původu, které mají velmi podobné vlastnosti jako oleje minerální [24]. Výhodou oproti olejům minerálním je menší povrchové napětí a tím i lepší smáčivost, což vede ke zlepšení odvodu tepla. Nevýhodou těchto mastných látek je velká náklonnost ke stárnutí. To znamená zvyšování jejich kyselosti a vytváření pryskyřičných látek. Mezi mastné látky užívané při obrábění patří řepkový, ricinový, lněný olej a další.

4.2.4 Minerální oleje

Minerální oleje jsou výrobky z ropy, které mají dobré mazací schopnosti, ale horší chladicí účinek [22]. Předností je dobrý ochranný účinek a dobrá odolnost proti stárnutí. Pro velmi dobré provozní vlastnosti se minerální oleje používají jako základ pro řezné oleje.

4.2.5 Řezné oleje

Řezné oleje jsou zušlechtěné minerální oleje, především přísadami zvyšujícími mazací vlastnosti [25]. Používají se především kvůli mazacímu účinku, který zvyšuje trvanlivost ostří nástroje, zmenšuje drsnost obrobeného povrchu a také při jejich možném vniknutí do mazacího okruhu stroje (u revolverových automatů, strojů na ozubení, protahovaček apod.)

4.2.6 Syntetické a polysyntetické procesní kapaliny

Předností syntetických PK je velká provozní stálost, protože nedochází k bakteriálnímu rozkladu. Mazací a chladicí účinky však nejsou lepší než u minerálních olejů [22], [25]. Syntetické PK jsou většinou rozpustné ve vodě, mají ochranné účinky, jsou na bázi polyglykolu a neobsahují minerální oleje. Aplikace syntetických PK má oproti kapalinám na bázi oleje ekonomické výhody. Dalšími výhodami jsou rychlý odvod tepla, dobré čisticí vlastnosti a jednoduchá příprava.

V syntetických PK je možné rovněž rozptýlit oleje, čímž vznikají polosyntetické PK, které mají příznivější mazací vlastnosti. V polosyntetických PK jsou olejové částice mnohem menší než v emulzích.

4.3 Vliv procesních kapalin na soustružení slitin hliníku

Současný vývoj v oblasti procesních kapalin klade značný důraz na oblast mikroemulzí pro obrábění hliníku [26]. To vyplývá z velké důležitosti hliníkových slitin v moderním průmyslu. Slitiny hliníku mají množství příznivých vlastností. V první řadě je to nízká hmotnost při vysoké pevnosti, což hliníkové slitiny předurčuje k použití hlavně v leteckém a automobilovém průmyslu.

Při soustružení slitin hliníku nastává řada specifických problémů, které většinu může vyřešit volba vhodné PK.

První problémem jsou mechanické vlastnosti slitin hliníku, které jsou obecně měkké a při obrábění přilnavé [27]. Při obrábění mají tendenci zalepovat řezný nástroj a tvořit nárůstek na břitě. To může mít za následek ovlivnění geometrie obráběcího stroje a tím i zhoršení kvality obrobeného povrchu.

Další problém je nežádoucí chemická interakce slitin hliníku s okolním prostředím, především s PK, což má za následek tvorbu skvrn na jeho povrchu. To činí obrábění hliníku velmi citlivé k volbě aditiv používaných ve vodou mísitelných PK.

Další potíž, která se nesmí vynechat, je sklon k biologické aktivitě. Kvůli přísadám na zvýšení mazivosti, kterými jsou obvykle estery nebo obdobné mastné látky, však PK představují snadný cíl pro napadení bakteriemi, plísněmi nebo houbami [26]. Proto musí být každá PK určená pro obrábění slitin hliníku obohacena o účinný biotit, který účinkuje proti nežádoucí biologické aktivitě.

Dalším druhem problémů jsou obecné požadavky na vodou mísitelné mikroemulze. Základními požadavky jsou například protikorozní vlastnosti, vhodné pH, účinné detergentní vlastnosti a odolnost proti pění.

5 Jakost povrchu

Jakost povrchu je tvarová a rozměrová přesnost povrchu obrobku [28]. Závisí na řezných podmínkách zejména na posuvu, tuhosti soustavy stroj – nástroj – obrobek, na geometrii břitu, na jakosti ostří a způsobu mazání a chlazení [3]. Jakost spolu s integritou povrchu určují kvalitu povrchu.

Integrita povrchu je souhrnem charakteristik, které se vztahují k povrchu [29]. Tyto charakteristiky se nezabývají pouze geometrií povrchu, ale i jeho vlastnostmi.

Složky integrity povrchu jsou:

- drsnost povrchu a jeho profil,
- geometrická přesnost,
- tvrdost na povrchu a v povrchové vrstvě,
- zbytková napětí,
- změny struktury,
- tepelné změny,
- trhliny.

5.1 Drsnost povrchu a jeho profil

Drsnost povrchu a jeho profil patří mezi základní ukazatele jakosti povrchu a povrchové vrstvy [29]. Nejčastěji je tento ukazatel využíván v průmyslové praxi. Hodnoty drsnosti jsou předepisovány na výkresy součástí, čímž předem určují, za jakých řezných podmínek a jakými nástroji bude součást a příslušná plocha obráběna. S kvalitou povrchu úzce souvisí třída přesnosti IT. S rostoucími nároky na kvalitu povrchu roste také třída přesnosti IT, jejíž výsledkem jsou rostoucí výrobní náklady. To je způsobeno tím, že se v mnoha případech už nevystačí s konvenčními obráběcími stroji a nástroji, ale je nutné pořízení různých typů CNC strojů, aby se tyto požadavky splnily.

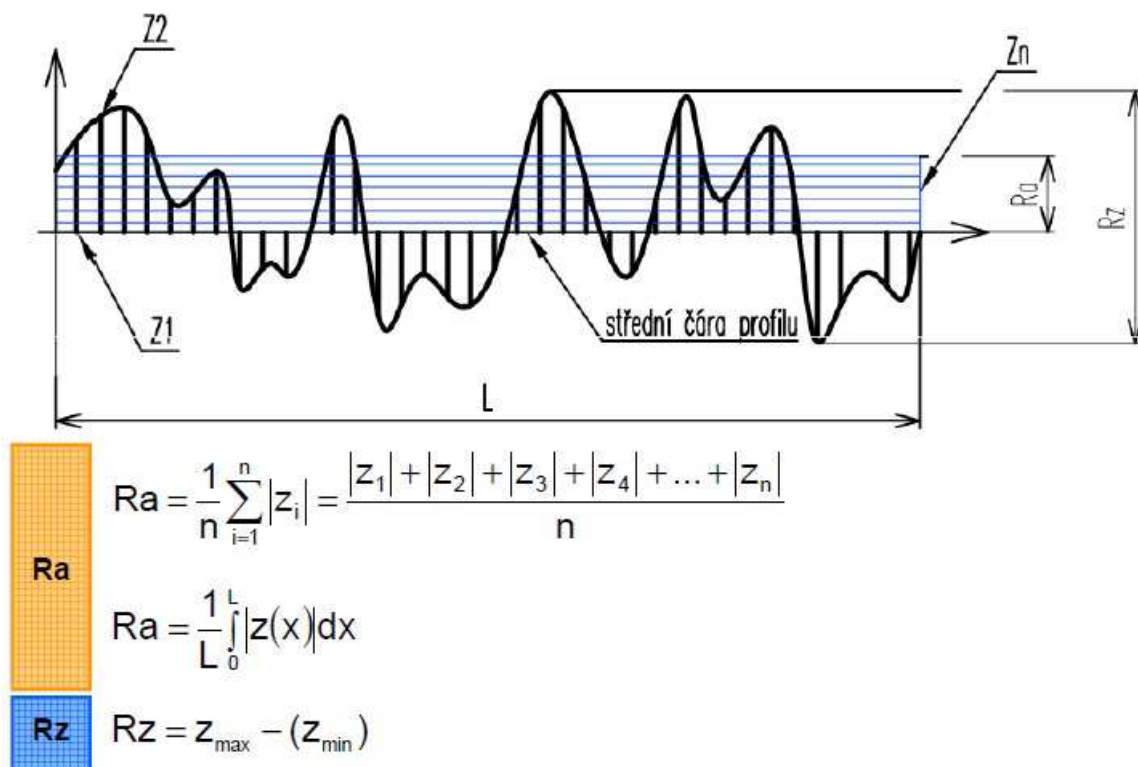
Často se v praxi stává, že je předepisována zbytečně vysoká kvalita povrchu v parametru drsnosti kvůli dobrému vzhledu součásti, čím se neekonomicky zvyšují náklady na výrobu. Ovšem tato estetická stránka nemá nic společného s kvalitou povrchu, která nás zajímá.

Norma ČSN EN ISO 4287 popisuje velké množství parametrů drsnosti povrchu, jejich výpočet a hodnocení. V současnosti existuje přes 250 různých parametrů, kterými lze hodnotit a popisovat drsnost povrchu.

Jedny z nejčastěji používaných parametrů v podmínkách běžného strojírenství jsou R_a , R_z a c_{tp50} , které se obvykle předepisují na výkresech součástí. Tyto tři parametry a mnoho dalších se měří profiloměry.

5.1.1 Parametry drsnosti povrchu R_a , R_z a c_{tp50}

Parametr drsnosti R_a je střední aritmetická úchylka profilu. Parametr drsnosti R_z je maximální úchylka profilu. Čím menší jsou hodnoty těchto parametrů, tím je hladší a odolnější povrch. Odolnější například proti korozi nebo opotřebení. Proto se většinou snaží dosáhnout co nejmenších hodnot. Výpočet parametrů drsnosti R_a a R_z včetně schematického zobrazení je uveden v obrázku 1 [30].



Obr. 1. Výpočet parametrů drsnosti R_a a R_z včetně schematického zobrazení [30].

První uvedený výpočet R_a je statistická metoda. Druhý uvedený výpočet je integrální metoda určení R_a .

c_{tp50} je nosný podíl posuzovaného profilu padesát procent. Parametr c_{tp50} vyjadřuje číselnou hodnotu hloubky posuzovaného profilu (od nejvyššího výstupku profilu), ve které je podíl materiálu a vzduchu 1:1 (50 % materiálu a 50 % vzduchu). Menší hodnoty parametru c_{tp50} indikují kvalitnější povrch [31].

6 Metodika experimentů

Cílem bakalářské práce je zjistit vliv procesních kapalin od firmy PARAMO, a.s. na technologii soustružení slitin hliníku. Konkrétně vliv PK na drsnost obrobeného povrchu a tvar utvořené třísky.

6.1 Popis strojů a pomůcek pro experimenty

6.1.1 Soustruh SU50

Pro experimenty bude použit soustruh SU50 vyrobený v závodě TOS Lipník (obr.2), který je umístěn v laboratoři KOM v budově L na TU v Liberci. Jeho základní parametry jsou v tabulce 2.



Obr. 2. Soustruh SU50

Oběžný průměr nad ložem		500	mm
Oběžný průměr nad suportem		250	mm
Vzdálenost hrotů		1500	mm
Vrtání vřetena		56	mm
Kužel hrotu		Morse 6	
Průměr lícní desky		500	mm
Průměr sklíčidla		250/315	mm
Největší krouticí moment na vřetenu (při 35 ot/min)		3020	Nm
Posuvová síla		15700	N
Největší průřez nože		32x32	mm
Výkon		11,7	kW
Rozsah otáček	přímo	11-224	ot/min
	při použití multiplikátoru 4:1	280-1400	ot/min

Tab. 2. Základní parametry soustruhu SU50 [21]

6.1.2 Zkušební vzorek

Jako zkušební vzorek (ZV) bude vybrána tyč ze slitiny hliníku. Důležité parametry tyče jsou délka l a průměr d . Délka by měla být v rozmezí minimálně 80 mm, aby se na jejím povrchu vedle sebe vešly úseky obrábění při použití jednotlivých procesních médií a maximálně taková délka, se kterou se dokáže pracovat. Čím rozměrnější tyč, tím hůře se s ní bude manipulovat pro její velkou hmotnost. Průměr by měl být maximálně 250 mm s ohledem na možnosti soustruhu a minimálně 95 mm, aby bylo možno dosáhnout na daném soustruhu požadované řezné rychlosti. Ta se bude pohybovat okolo 400 m/min.

6.1.3 Nástroj

Jako nástroj pro soustružení bude použit soustružnický nůž NAREX CTAPR 25 25 M16 (obr.3), který je určený pro vnější soustružení. Základní rozměry nože jsou šířka = 25 mm, tloušťka = 25 mm a délka = 150 mm. Další parametry nože se nacházejí v katalogu výrobce NAREX.



Obr. 3. Soustružnický nůž NAREX CTAPR 25 25 M16

Do nože bude vložena vyměnitelná břitová destička s nulovým úhlem čela (obr.4). Nese označení TPUN 160304; 8230 a byla vybrána pro velkou univerzálnost v použití. Základní parametry jsou uvedeny v tabulce 3.



Obr. 4. Vyměnitelná břitová destička TPUN 160304; 8230

Použití	pro všechny skupiny obráběných materiálů
Řezná rychlost	200-700 m/min
Posuv	0,1 - 0,2 mm/ot
Hloubka řezu	0,5 - 16 mm
Rádus špičky	0,4 mm
Tloušťka	3,18 mm

Tab. 3. Parametry vyměnitelné břitové destičky TPUN 160304; 8230 [32]

6.1.4 Procesní kapaliny

Pro experimenty byly zvoleny 4 PK z portfolia firmy PARAMO, a.s., které jsou potřeba otestovat při soustružení slitiny hliníku. PK firma dodává v podobě koncentrátu. Testované PK budou:

- ESOK 1.0E (obsahuje polyalkylenglykol nižší viskozity),
- ESOK 1.0D (obsahuje polyalkylenglykol střední viskozity),
- ESOK 1.1B (obsahuje směs polyalkylenglykolů střední a nižší viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na esterech kyseliny fosforečné),
- ESOK 1.1F (obsahuje polyalkylenglykol velmi vysoké viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na esterech kyseliny fosforečné).

Tyto vybrané PK jsou syntetické, na bázi vody a obsahují korozní inhibitor, biocidní a protipěnovostní systém. V závorkách jsou uvedeny jejich rozdílné přísady.

Pro porovnání budou experimenty provedeny také s procesními médii:

- voda,
- vzduch.

6.1.5 Nádoby na procesní kapaliny

K namíchání procesních kapalin bude zapotřebí 4 nádob o objemu minimálně jednoho litru a jedné nádoby na vodu o stejném objemu. Proto volím jeden a půl litrové plastové lahve, protože jsou snadno dostupné. Lahve se před zahájením míchání PK důkladně vyčistí. Všechny experimenty by se daly provést také pouze s jednou nádobou, ale to se jeví náročně vzhledem k času a ke způsobu provedení.

6.1.6 Ruční refraktometr

Pro odměření koncentrace procesní kapaliny ve vodě, bude použit ruční refraktometr RLC ATC K71901 (obr.5), který je určen pro rychlé měření vodných roztoků v rozmezí 0-18 % Brix. Stupnice Brix je uváděna v procentech a vyjadřuje celkovou koncentraci všech rozpuštěných látek ve vodě.

K refraktometru je zapotřebí také pipeta na odebrání vzorku namíchané procesní kapaliny.

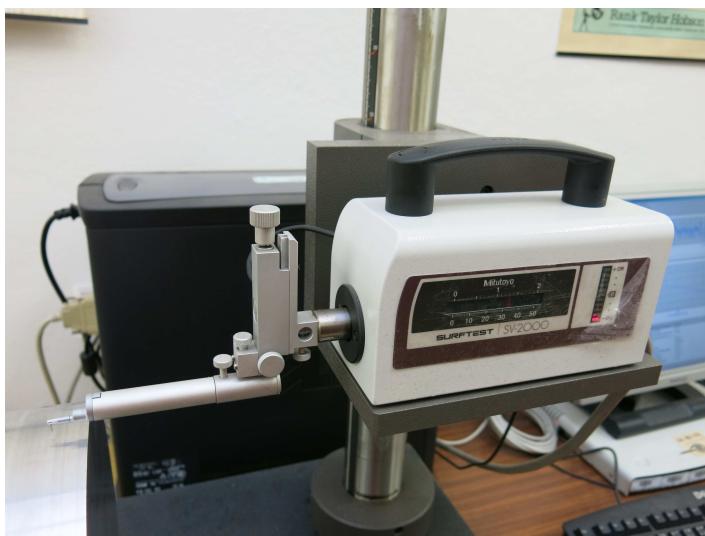


Obr. 5. Ruční refraktometr RLC ATC K71901

6.1.7 Profiloměr MITUTOYO Surfest SV-2000

Ke změření parametrů drsnosti obrobeneho povrchu, bude použit laboratorní profiloměr Mitutoyo Surfest SV-2000 (obr. 6) a stolní počítač značky Dell s programem Surfpak 1.100, pomocí kterého se bude profiloměr ovládat.

Program dokáže poskytnout velké množství údajů, viz jeho technické parametry v příloze č. 1.1. Pro hodnocení drsnosti povrchu se budou z obrazovky odečítat hodnoty zvolených parametrů R_a , R_z a c_{tp50} .



Obr. 6. Profiloměr Mitutoyo SurfTest SV-2000

6.2 Výběr zkušebního vzorku

Pro experimenty volím slitinu hliníku ČSN 424254. Je to dural a jeho podrobné informace jsou uvedeny v příloze č. 1.1. Ve skladě KOM v Liberci byl vybrán, jako zkušební vzorek, obrobek tyčového tvaru ze slitiny hliníku, který na skladě zbyl po předchozích zkouškách soustružení a na jedné straně má udělaný středící důlek. Proto je pro experimenty téměř ideální. Nevýhodou je pouze vyšší hmotnost, která činí přibližně 20kg. Průměr je 226 mm a délka 171 mm.

6.3 Příprava procesní kapaliny

Firma PARAMO, a.s. dodá již zmíněné 4 koncentráty PK s doporučenou koncentrací 5 %. Ty se namíchají v dostatečném množství pro experimenty o objemu jednoho litru.

Před začátkem míchání PK se musejí vypočítat hodnoty koncentrací pro refraktometr, které budou cílem naměřit. Vztah vypadá následovně:

$$K_{REF} = \frac{K_{SKUT}}{r_i}$$

Vybere se první koncentrát PK, kde na štítku udává firma PARAMO, a.s. refrakční index pro refraktometr (r_i). Tímto refrakčním indexem se vydělí zvolená koncentrace (K_{SKUT}) 5 % a vyjde údaj koncentrace na refraktometru (K_{REF}) v procentech Brix. Toto číslo se musí změřit na refraktometru. Hodnoty K_{SKUT} , r_i a K_{REF} jednotlivých PK jsou shrnuty v tabulce 4.

Název PK	Skutečná koncentrace K_{SKUT} (%)	Refrakční index r_i	Hodnota koncentrace na refraktometru K_{REF} (% Brix)
ESOK 1.0D	5	3,00	1,67
ESOK 1.0E	5	3,10	1,61
ESOK 1.1B	5	2,10	2,38
ESOK 1.1F	5	2,25	2,22

Tab. 4. Hodnoty K_{SKUT} , r_i a K_{REF} procesních kapalin od firmy PARAMO, a.s.

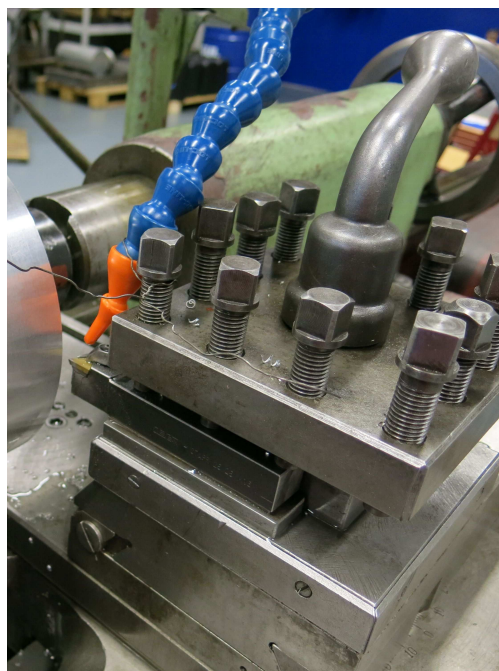
Nejdříve se připraví 5 plastových lahví, které se naplní do dvou třetin vodou, což odpovídá jednomu litru. Do jedné z lahví se přilije trošku prvního koncentrátu PK o objemu přibližně 5 polévkových lžic a důkladně se roztok PK promíchá. Následně se odebere pipetou malé množství namíchané PK a jedna kapka se kápne na vysušenou snímací plošku refraktometru, který ukáže koncentraci PK v procentech Brix. Snímací ploška refraktometru, se musí po každém měření důkladně osušit, aby se zajistilo přesné měření pro další PK.

Pokud bude koncentrace PK příliš nízká, přilije se do roztoku další malé množství koncentrátu, opět se zamíchá a poté změří. Pokud bude koncentrace PK naopak příliš vysoká, přilije se do roztoku voda.

Takto se postupuje s dalšími třemi koncentráty a poslední láhev se nechá naplněna pouze vodou.

6.4 Upnutí nástroje

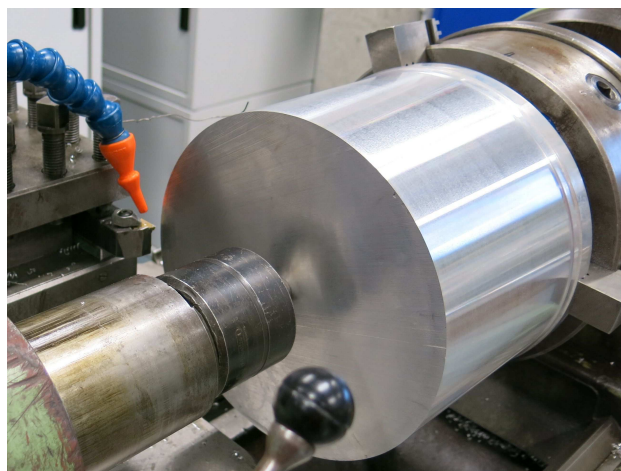
Před začátkem obrábění se musí upnout soustružnický nůž s vyměnitelnou břitovou destičkou do nožové hlavy pomocí upínacích šroubů a vystředit na osu otáčení soustruhu. K tomu slouží podložky, které nůž zvednou do požadované výšky osy. Vyložení nástroje z nožové hlavy se nechá přibližně jednou pětinou své délky (obr.7).



Obr. 7. Upnutí soustružnického nože

6.5 Upnutí zkušebního vzorku na soustruh

K upnutí zkušebního vzorku na soustruh bude pravděpodobně potřeba spolupráce dvou osob, protože ZV má vyšší hmotnost, přibližně 20 kg. Tento vzorek bude upnut na jedné straně do sklíčidla pomocí tří čelistí a na druhé straně do otočného hrotu v koníku (obr 8).



Obr. 8. Upnutí zkušebního vzorku

6.6 Příprava přívodu procesní kapaliny k místě řezu

Pro úsporu PK a času z případného čištění soustruhu (aby následující PK nebyla ovlivněna předchozí) se nebude používat integrovaný oběhový systém PK, ale použije se přídavný.

Jednoduchý gravitační přídavný systém k dopravě PK (obr. 9) se skládá ze zásobníku na PK v podobě plastové láhve o objemu 1,5 litru, 1/2" hadice, ventilu a kruhové trysky. Tento celek je součástí vybavení laboratoře KOM na TU v Liberci. Zásobník přídavného systému se umístí do dostatečné výšky nad místo řezu, aby gravitace dopravila PK do určeného místa.



Obr. 9. Přídavný systém pro přívod procesní kapaliny

6.7 Úprava zkušebního vzorku před začátkem experimentů

Pro stejné výchozí podmínky při aplikaci PK, bude ZV soustružen na průměr 224 mm v délce cca 80 mm ze strany středícího důlku. Tato délka bude s rezervou stačit pro vyzkoušení 4 procesních kapalin od firmy PARAMO, a.s. a dvou procesních médií vody a vzduchu.

6.8 Návrh řezných podmínek

Slitiny hliníku se obrábí při velmi vysokých rychlostech. Proto navrhuji pro experimenty řeznou rychlost v_c okolo velikosti 400 m/min. Ze vztahů pro řeznou rychlost

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n_m}{1000} \Rightarrow n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 400}{\pi \cdot 224} = 568 \text{ ot/min}$$

vychází otáčky $n_m = 568 \text{ ot/min}$ [9]. Takové se na stroji nenachází, ale nejbližší hodnota je velmi blízká a to 560 ot/min. Při zpětném vypočítání řezné rychlosti

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 224 \cdot 560}{1000} = 394 \text{ m/min}$$

vychází hodnota $v_c = 394 \text{ m/min}$, která se blíží původní navrhované rychlosti, a proto vyhovuje. Hloubku řezu navrhuji $a_p = 0,5 \text{ mm}$ a posuv $f = 0,05 \text{ mm/ot}$. Všechny tyto podmínky určuji pro soustružení na čisto.

Řezné podmínky pro soustružení zkušebního vzorku o průměru 224 mm tedy jsou:

$$n_m = 560 \text{ m/min},$$

$$v_c = 394 \text{ m/min},$$

$$a_p = 0,5 \text{ mm},$$

$$f = 0,05 \text{ mm/ot}.$$

6.9 Výpočet času nástroje v záběru

Aby se soustružily přibližně stejně dlouhé úseky zkušebního vzorku se všemi zvolenými procesními médii, vypočítá se přibližný čas nástroje v záběru.

Znají se hodnoty: otáčky $n_m = 560 \text{ m/min}$, posuv $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ a potřebný minimální úsek pro provedení měření drsnosti $m = 7 \text{ mm}$. Hodnota 7 mm se skládá z potřebné délky 5 mm pro měření drsnosti a 1 mm z každé strany jako malá

rezerva pro měření. Na základě těchto tří údajů se vypočítá minimální čas nástroje v záběru tímto způsobem. Nejdříve se vydělí otáčky n_m číslem 60, aby se převedly na vteřiny (n_s).

$$n_s = \frac{n_m}{60} = \frac{560}{60} = 9,33 \text{ ot} / \text{s}$$

Následně se vydělí soustružená délka m posuvem f , kde vyjde počet otáček o k obrobení délky m .

$$o = \frac{m}{f} = \frac{7}{0,05} = 140$$

A tento počet otáček o se vydělí otáčkami za vteřinu n_s a vyjde čas t nože v záběru ve vteřinách.

$$t = \frac{o}{n_s} = \frac{140}{9,33} \doteq 15 \text{ s}$$

Po dosažení hodnot vychází čas nože v záběru $t \doteq 15 \text{ s}$.

6.10 Postup při obrábění

První krok bude nastavení řezných podmínek na soustruhu. Těmi jsou otáčky vřetena a posuv. Poté bude stroj zapnut a nechá se roztočit vřeteno se ZV. Ručně se udělá blízko čela obrobku dotyk špičky nástroje s jeho obvodem, aby se mohla zadat hloubka řezu. Dále, ještě ručně, se bude muset vyjet nástrojem těsně před čelo ZV a nastaví se požadovaná hloubka řezu. Následně se pohon vřetena s obrobkem vypne. Takto bude stroj se ZV připraven na zahájení experimentů.

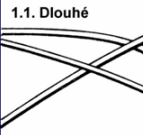
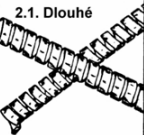

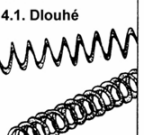
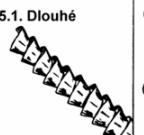
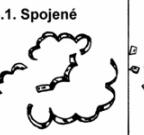





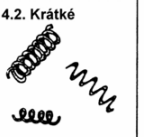
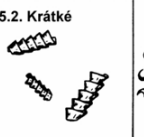
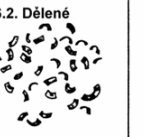
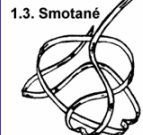
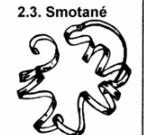
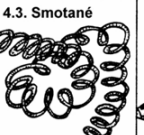
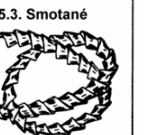
Po této přípravě se začne zkoušet první PK od firmy PARAMO, a.s., která se nalije do zásobníku PK. Poté se nechá roztočit vřeteno, otevře se ventil pro přívod PK na maximum a spustí se zadaný posuv. V okamžiku, kdy nástroj začne odebírat materiál, se odměří předem vypočtený čas nože v záběru. Ten je 15 s. Po uplynutí doby se zastaví posuv a poté vřeteno. Počká se, až všechna PK proteče a při tom se odebere část vzniklých třísek pro prozkoumání. Třísky se odloží na bílý papír nadepsaný názvem PK, při které vznikly. Potom se propláchne systém vodou a zbylé třísky se dají na stranu, aby se při dalších experimentech nepomíchaly. Označí se vysoustružený úsek a první experiment s PK bude u konce. Takovýmto způsobem se provedou i další experimenty s ostatními třemi PK od firmy PARAMO, a.s. a PK vodou.

Po poslední PK se obrobek osuší a provede se experiment bez PK.

Nakonec se vyjme a přenesse do laboratoře s profiloměrem, kde se bude měřit drsnost obrobeného povrchu. Stroj se uklidí a tím experimenty na soustruhu skončí.

6.11 Metodika zkoumání vzniklých třísek

Když budou odebrané a označené všechny vzorky třísek po soustružení, postupně se vyfotografují. Tyto fotografie se poté použijí k hodnocení tvaru třísek podle normy ISO 3685 (obr.10).

1. Stužkové * třísky	2. Vinuté * třísky	3. Spirálové * třísky	4. Vlnité šroubovitě třísky	5. Kuželovité * šroubovitě třísky	6. Obloukovité ♦ třísky	7. Elementární třísky	8. Jehlovité třísky
1.1. Dlouhé 	2.1. Dlouhé 	3.1. Ploché 	4.1. Dlouhé 	5.1. Dlouhé 	6.1. Spojené 		
1.2. Krátké 	2.2. Krátké 	3.2. Kuželovité 	4.2. Krátké 	5.2. Krátké 	6.2. Dělené 		
1.3. Smotané 	2.3. Smotané 		4.3. Smotané 	5.3. Smotané 			

Obr. 10. Tvary třísek podle normy ISO 3685 [33]

6.12 Metodika zkoumání drsnosti povrchu

Drsnost obrobeného povrchu ZV se bude měřit v laboratoři KOM na TU v Liberci v budově E profiloměrem Mitutoyo SV-2000. Každý úsek obrobku se bude měřit 10x pro zajištění vysoké přesnosti měření.

Celkem bude na ZV 6 úseků. Čtyři úseky budou po soustružení s přívodem jednotlivých PK od firmy PARAMO, a.s., jeden úsek s přívodem PK vody a jeden bez přívodu PK.

Postup bude následující. Nejdříve se položí ZV do prizmatu. Umístí se tak, aby jeho osa byla rovnoběžná s osou přístroje a měření bylo provedeno na nejvyšším místě obrobku. Dále bude zapnut počítač a přístroj pro zpracování dat z profiloměru. V počítači se spustí program Surfpack, ve kterém se nastaví podmínky pro vyhodnocování drsnosti. Poté se začne měřit.

Přístroj má pro délku obrobené plochy ZV dostatečný rozsah, a proto se nastaví přístroj do nejkrajnější možné polohy, aby se při první části měření nemuselo hýbat se ZV. Postupně se změří všech 6 úseků ZV a po každém měření se zaznamenají údaje Ra, Rz a c_{tp50} z obrazovky.

Odečtení hodnot Ra a Rz je snadné, protože jsou přímo vyjádřeny na obrazovce. Hodnota nosného podílu c_{tp50} se nachází v grafu s Abbotovou křivkou. Tato hodnota se bude odečítat s pomocí aproximace. To se provede tak, že se v grafu rozdělí svislá osa na vhodný počet dílků a vypočítá se hodnota jednoho dílku. Čím více dílků, tím přesnější výsledek. Já volím rozdělení na 36 dílků. Na středu vodorovné osy grafu vztyčíme kolmici, která protne Abbotovu křivku. Hodnota tohoto bodu na svislé ose je poté hodnota nosného podílu c_{tp50} . Schematicky je to znázorněno na obrázku 11.

Následně se ZV pootočí cca o 36° a měření se provede znova. Takto se bude pokračovat až do posledního desátého měření.

Ze zaznamenaných údajů se vypočítají průměrné hodnoty, které se budou později hodnotit, a s ním související statistické intervaly spolehlivosti.

Průměrná hodnota jednoho parametru se vypočítá, jako aritmetický průměr všech naměřených hodnot tohoto parametru, ze vztahu:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

kde \bar{x} je aritmetický průměr, x_i je jedna hodnota, n je celkový počet hodnot, i je číslo měření [34].

Normalizovaná odchylka se vypočítá podle vztahu:

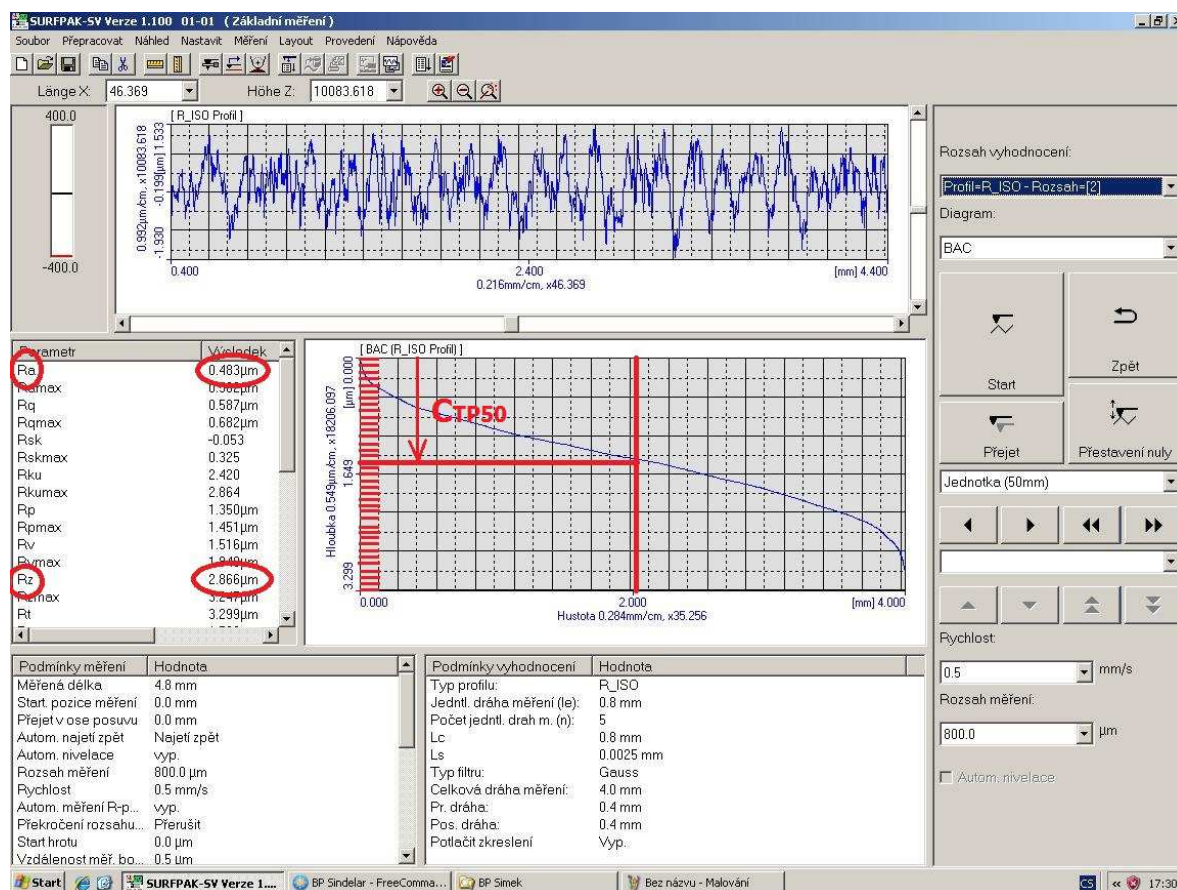
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

Použije se k výpočtu statistického intervalu spolehlivosti. Všechny prvky ve vzorci jsou již popsány na předešlých řádcích.

Statistický interval spolehlivosti se určí jako interval, v rámci kterého jsou výsledky dalšího zkušebního testu umístěné s předpokládanou pravděpodobností. Vypočítá se pomocí následujících vztahů:

$$\bar{x}_{\max} = \bar{x} + t_{95} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad \text{a} \quad \bar{x}_{\min} = \bar{x} - t_{95} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}},$$

kde t_{95} je studentova hodnota pro úroveň spolehlivosti 95 %. Pro 10 měření je tato hodnota t_{95} rovna 2,262.



Obr. 11. Obrazovka programu Surfpack a označené odečítané hodnoty parametrů

6.13 Tabulka se shrnutím podmínek experimentů

V tabulce 5 jsou shrnuty podmínky experimentů pro dobrý přehled.

Stroj	soustruh SU50			
Zkušební vzorek	materiál	slitina hliníku ČSN 424254		
	rozměry	Ø 226 - 171		
	hmotnost	19,2 kg		
Operace	soustružení na čisto			
Způsob soustružení	podélné			
Podmínky experimentů				
Soustružnický nůž	NAREX CTAPR 25 25 M16			
Vyměnitelná břitová destička	TPUN 160304; 8230			
Obvodová rychlost	v_c	394	[m/min]	
Otáčky	n_m	560	[ot/min]	
Hloubka záběru	a_p	0,5	[mm]	
Velikost posuvu	f	0,05	[mm/ot]	
Chlazení	procesní média	ESOK 1.0E		
		ESOK 1.0D		
		ESOK 1.1B		
		ESOK 1.1F		
		voda		
		vzduch		
	přívod PK	plastová stavebnicová hadice a plastová naklápěcí tryska systému LOC - LINE FLEXI		
	koncentrace PK	K_{SKUT}	5	[%]
	průtočné množství PK	Q_v	2,5	[l/min]
	teplota procesních médií	t	20	[°C]
Měřicí aparatura	profiloměr MITUTOYO SV-2000			
Měřené parametry	drsnost povrchu	Ra	[μm]	
		Rz	[μm]	
		c_{tp50}	[μm]	
Počet měření	10			

Tab. 5. Podmínky experimentů

7 Realizace experimentů

Základním úkolem této části bakalářské práce byla samotná realizace experimentů dle metodiky. To znamená výběr a příprava zkušebního vzorku (ZV), postup při soustružení, měření vybraných parametrů drsnosti obrobeného povrchu a hodnocení tvaru vzniklé třísky.

7.1 Příprava před experimentem

Pro soustružení byl vybrán ZV ze slitiny hliníku s označením ČSN 424254 (dural). Jeho rozměry byly: průměr 226 mm a délka 171 mm, jak je uvedeno v části metodiky (kapitola 6.2).

Do nožové hlavy soustruhu byl upnut šrouby soustružnický nůž NAREX CTAPR 25 25 M16 s vyměnitelnou břitovou destičkou TPUN 160304; 8230. Nástroj byl vyložen jednou pětinou své délky a vypodložen podložkami tak, aby špička břitu byla přesně v ose vřetena soustruhu SU50.

Poté byly namíchány vybrané PK od firmy PARAMO, a.s.:

- ESOK 1.0D,
- ESOK 1.0E,
- ESOK 1.1B,
- ESOK 1.1F,

v 5 % koncentraci s vodou z vodovodního řádu přesně podle metodiky (kapitola 6.3) a připraveny k soustružení. Pro experimenty byly připraveny také procesní média:

- voda,
- vzduch.

Posléze byl na soustruhu upnut ZV. Na jedné straně do sklíčidla a na druhé do hrotu. Z praktického hlediska byl ZV soustružen v délce 150 mm místo navržených 80 mm na průměr 224 mm z důvodu pozdějšího využití. Při soustružení na průměr 224 mm nebyla použita PK a byly voleny stejné řezné podmínky jako pro experimenty s výjimkou hloubky řezu a_p :

$$n_m = 560 \text{ m/min,}$$

$$f = 0,05 \text{ mm/ot.}$$

Následně se po dotyku špičky nástroje s povrchem obvodu ZV blízko čela na straně středícího důlku nastavila hloubka řezu

$$a_p = 1 \text{ mm}$$

mimo ZV před čelem. Obrobek byl soustružen v délce 150 mm a připraven na experimenty. Poslední přípravná operace byla instalace přídavného chladicího systému a umístění trysky do oblasti řezání.

7.2 Postup soustružení zkušebního vzorku

Po přípravě ZV, procesních kapalin a přídavného chladicího systému se na soustruhu nechaly nastavené řezné podmínky jako v přípravné operaci na experimenty kromě hloubky řezu a_p :

$$n_m = 560 \text{ m/min,}$$

$$f = 0,05 \text{ mm/ot.}$$

Poté byl nástroj polohován tak, aby došlo ke kontaktu špičky nástroje s povrchem ZV. Nastavení hloubky řezu

$$a_p = 0,5 \text{ mm}$$

se provedlo před čelem ZV. Tímto byly řezné podmínky nastaveny a ponechány po všechny experimenty.

Začalo se naplněním zásobníku první PK ESOK 1.0E. Roztočilo se vřeteno, otevřel se ventil s PK na maximum a spustil se posuv. V okamžiku, kdy nástroj vešel do záběru, se odměřil čas 15 s, který se vypočítal v části metodiky (kapitola 6.9). Následně se zastavil posuv, vřeteno a nechala se protéct zbývajících PK. Odebral se vzorek třísek, který byl odložen na bílý papír nadepsaný názvem PK, při které třísky vznikly. Propláchnul se chladicí systém vodou, odstranily se zbylé třísky a označil se soustružený úsek. Tím experiment skončil a ZV byl připraven na další s jinou PK.

Stejným způsobem se experimenty provedly s PK: ESOK 1.0D, ESOK 1.1B, ESOK 1.1F a vodou. Nakonec se ZV osušil a experiment se provedl bez PK. Poté se obrobek vyjmul a stroj uklidil.

Na závěr se vyfotografovaly odebrané vzorky vzniklých třísek, které se v průběhu experimentů odkládaly na bílé papíry. Ty se poté hodnotily dle metodiky (kapitola 6.11).

7.3 Postup měření drsnosti zkušebního vzorku

Po soustružení se ZV přenesl do laboratoře KOM na TU v Liberci do budovy E, kde se měřilo na profiloměru Mitutoyo SV-2000. Na jednotlivých úsecích soustružených s různými PK se měřily hodnoty R_a , R_z a C_{tp50} .

ZV byl uložen do dvou prizmat a umístěn tak, aby jeho osa byla rovnoběžná s osou přístroje a měření bylo provedeno v nejvyšším místě. Postupovalo se dle metodiky (kapitola 6.12) a zaznamenaly se zvolené údaje.

8 Hodnocení vlivů různých druhů procesních médií

V této části bakalářské práce jsou hodnoceny jednotlivé procesní média a jejich vliv na zkušební vzorek ze slitiny hliníku. Konkrétně na drsnost povrchu a tvar vzniklé třísky. Zvolené parametry drsnosti povrchu R_a , R_z a c_{tp50} byly měřeny na profiloměru Mitutoyo SV-2000 v 10 místech rovnoměrně po obvodu ZV každého ze šesti úseků. Tvar třísky byl hodnocen podle normy ISO 3685 (obr. 10).

Soustružený úsek ZV s přívodem PK vody slouží jako výchozí a další obrobené úseky s přívodem ostatních procesních médií se s tímto úsekem porovnávají.

8.1 Hodnocení soustruženého úseku zkušební vzorku s přívodem PK vody

Úsek obrobený s přívodem PK vody slouží jako vzorový. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a c_{tp50} jsou zobrazeny v tabulce 6. V příloze 2.1. – 2.3. jsou k jednotlivým měřením uvedeny Abbotovy křivky.

Průměrné hodnoty parametrů drsnosti povrchu jsou: $R_a = 0,49 \mu\text{m}$, $R_z = 3,57 \mu\text{m}$ a $c_{tp50} = 2,25 \mu\text{m}$.

Z Abbotových křivek jednotlivých měření vyplývá, že podíl materiálové části povrchu je jen o pár procent vyšší než vzduchový podíl. A to znamená, že profil soustruženého povrchu je téměř pravidelný.

Voda	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
R_a [μm]	0,45	0,53	0,52	0,55	0,50	0,48	0,45	0,50	0,50	0,47	0,49	0,02
R_z [μm]	3,40	4,04	3,60	3,55	3,77	3,82	2,77	3,85	3,70	3,17	3,57	0,28
c_{tp50} [μm]	2,18	2,02	1,87	2,28	3,09	3,07	1,96	2,34	1,87	1,80	2,25	0,36

Tab. 6. Hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a c_{tp50} po soustružení s PK vodou

Vzniklé třísky po soustružení s PK vodou (obr. 12) jsou vinuté smotané. Tyto třísky tvoří velké smotky a proto by bylo vhodné použít utvařeč třísek, pro zajištění jejich dobrého odchodu.



Obr. 12. Vzorek odebraných třísek po soustružení slitiny hliníku s přívodem PK vody

8.2 Hodnocení soustruženého úseku zkušebního vzorku bez přívodu PK

Pro srovnání byl soustružen úsek také bez přívodu PK. Hodnoty měřených parametrů drsnosti R_a , R_z a c_{tp50} jsou zobrazeny v tabulce 7. V příloze 2.3. – 2.5. jsou k jednotlivým měřením uvedeny Abbotovy křivky.

Průměrné hodnoty parametrů drsnosti povrchu jsou: $R_a = 0,45 \mu\text{m}$, $R_z = 2,92 \mu\text{m}$ a $c_{tp50} = 1,74 \mu\text{m}$. Výsledné hodnoty ukazují, že obrobeneý povrch bez použití PK má znatelně lepší hodnoty parametrů drsnosti než soustružený úsek s PK vodou. Konkrétně hodnota parametru R_a je o $0,04 \mu\text{m}$, R_z je o $0,65 \mu\text{m}$ a c_{tp50} je o $0,51 \mu\text{m}$ nižší než po soustružení s PK vodou. To by mohlo být způsobené vytvořením stabilního nárůstku na břitě, který pozitivně ovlivňuje výsledný povrch ZV. Naproti tomu při soustružení s přívodem PK vody se vytváří nárůstek nestabilní, který se opakovaně vytváří a rozpadá.

Z Abbotových křivek vyplývá, že podíl materiálu mírně převládá nad vzduchovým podílem podobně jako v případě úseku soustruženého s přívodem PK vody. Ale nízká hodnota c_{tp50} napovídá, že obrobeneý povrch má znatelně větší odolnost proti opotřebení než soustružený úsek s PK vodou.

Vzduch	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	0,46	0,42	0,48	0,44	0,43	0,41	0,49	0,49	0,42	0,46	0,45	0,02
Rz [μm]	2,99	2,81	2,83	2,91	2,81	2,62	3,00	3,08	3,07	3,09	2,92	0,11
C_{tp50} [μm]	1,50	1,56	1,33	1,75	1,40	1,32	1,61	1,65	3,20	2,13	1,74	0,43

Tab. 7. Hodnoty parametrů drsnosti Ra, Rz a c_{tp50} po soustružení bez PK

Z odebraného vzorku třísek (obr. 13) se hodnotí tříska jako vinutá smotaná. Ta by mohla dělat problémy, protože vytváří velké smotky, které by mohly poškodit obrobek nebo nástroj. Tento problém se vyřeší zavedením utvařeče třísek.



Obr. 13. Vzorek odebraných třísek po soustružení slitiny hliníku bez přívodu PK

8.3 Hodnocení soustruženého úseku zkušebního vzorku s přívodem PK ESOK 1.0E

První testovaná PK od firmy PARAMO, a.s. byla ESOK 1.0E. V tabulce 8 jsou zaznamenány naměřené hodnoty parametrů drsnosti Ra, Rz a c_{tp50} . V příloze 2.6 – 2.8. jsou zobrazeny Abbotovy křivky k jednotlivým měřením.

Průměrné hodnoty parametrů drsnosti povrchu jsou: $Ra = 0,50 \mu m$, $Rz = 3,31 \mu m$ a $c_{tp50} = 1,83 \mu m$. Průměrná hodnota Ra vychází až na $0,01 \mu m$ stejně jako v případě vody, z čehož vyplývá, že tato PK tento parametr téměř

neovlivňuje. Parametr R_z už má lepší výslednou průměrnou hodnotu o $0,26 \mu\text{m}$ s PK od firmy PARAMO, a.s. a hodnota středního nosného podílu c_{tp50} je o $0,42 \mu\text{m}$ nižší než v případě použití PK vody. Tato hodnota c_{tp50} se blíží k průměrné hodnotě po soustružení bez PK, kde je vyšší pouze o $0,09 \mu\text{m}$. V těchto dvou parametrech (R_z a c_{tp50}) PK ESOK 1.0E zlepšuje výsledné hodnoty oproti PK vodě.

Abbotovy křivky se pohybují mírně ve vyšší části grafu a spolu s nižší hodnotou c_{tp50} vykazují mnohem lepší odolnost vytvořeného povrchu proti opotřebení než úsek obrobený s PK vodou.

1.0E	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	0,49	0,54	0,49	0,52	0,45	0,50	0,52	0,54	0,48	0,43	0,50	0,03
Rz [μm]	3,32	3,78	3,15	3,67	3,11	3,18	3,11	3,68	3,07	3,00	3,31	0,22
c_{tp50} [μm]	1,65	1,92	1,55	1,85	1,60	1,57	1,78	3,02	1,91	1,45	1,83	0,34

Tab. 8. Hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a c_{tp50} po soustružení s PK ESOK 1.0E

Část třísky vzniklé při soustružení slitiny hliníku s přívodem PK ESOK 1.0E je na obrázku 14. Tříska má tvar vinutý smotaný. Vytváří smotky, kterým se zabrání použitím utvařeče třísek.



Obr. 14. Vzorek odebraných třísek po soustružení slitiny hliníku s přívodem PK ESOK 1.0E

8.4 Hodnocení soustruženého úseku zkušebního vzorku s přívodem PK ESOK 1.0D

Druhá testovaná PK od firmy PARAMO, a.s. byla ESOK 1.0D. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu R_a , R_z a c_{tp50} jsou uvedeny v tabulce 9. Abbotovy křivky jednotlivých měření jsou uvedeny v příloze 2.8. – 2.10.

Průměrné hodnoty parametrů drsnosti povrchu jsou: $R_a = 0,59 \mu\text{m}$, $R_z = 3,98 \mu\text{m}$ a $c_{tp50} = 2,42 \mu\text{m}$. Při porovnání těchto hodnot s průměrnými hodnotami při použití PK vody jsou všechny značně vyšší a tím horší. Hodnota parametru drsnosti R_a je o $0,10 \mu\text{m}$, R_z je o $0,41 \mu\text{m}$ a c_{tp50} je o $0,17 \mu\text{m}$ vyšší. Z toho vyplývá, že výsledný povrch má horší hodnoty parametrů drsnosti než povrch po soustružení s PK vodou. PK ESOK 1.0D tedy nezlepšuje, naopak zhoršuje, výsledné hodnoty parametrů drsnosti povrchu.

Abbotovy křivky se pohybují opět mírně ve vyšší části grafu velmi podobně jako v předchozích případech. Naproti tomu, ale vysoká hodnota c_{tp50} vypovídá o tom, že povrch není tak odolný proti opotřebení jako úsek soustružený s použitím PK vody.

1.0D	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+, -)
Ra [μm]	0,57	0,57	0,61	0,61	0,66	0,59	0,59	0,59	0,55	0,59	0,59	0,02
Rz [μm]	3,64	3,71	4,00	4,38	4,40	4,38	3,86	3,66	3,72	4,01	3,98	0,23
Ctp50 [μm]	1,96	2,32	2,68	2,31	2,49	3,71	2,39	1,98	2,21	2,14	2,42	0,38

Tab. 9. Hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a c_{tp50} po soustružení s PK ESOK 1.0D

Část odebraných třísek po soustružení slitiny hliníku s přívodem PK od firmy PARAMO, a.s. ESOK 1.0D jsou vyfotografovány na obrázku 15. Třísky mají tvar opět vinutý smotaný a vytvářejí velké smotky. Pro zabránění tvorby smotků se doporučuje použít utvařec třísek.



Obr. 15. Vzorek odebraných třísek po soustružení slitiny hliníku s přívodem PK ESOK 1.0D

8.5 Hodnocení soustruženého úseku zkušební vzorku s přívodem PK ESOK 1.1B

Předposlední testovanou PK od firmy PARAMO, a.s. byla PK ESOK 1.1B. Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu R_a , R_z a c_{tp50} jsou uvedeny v tabulce 10. Abbotovy křivky jednotlivých měření jsou uvedeny v příloze 2.11. – 2.13.

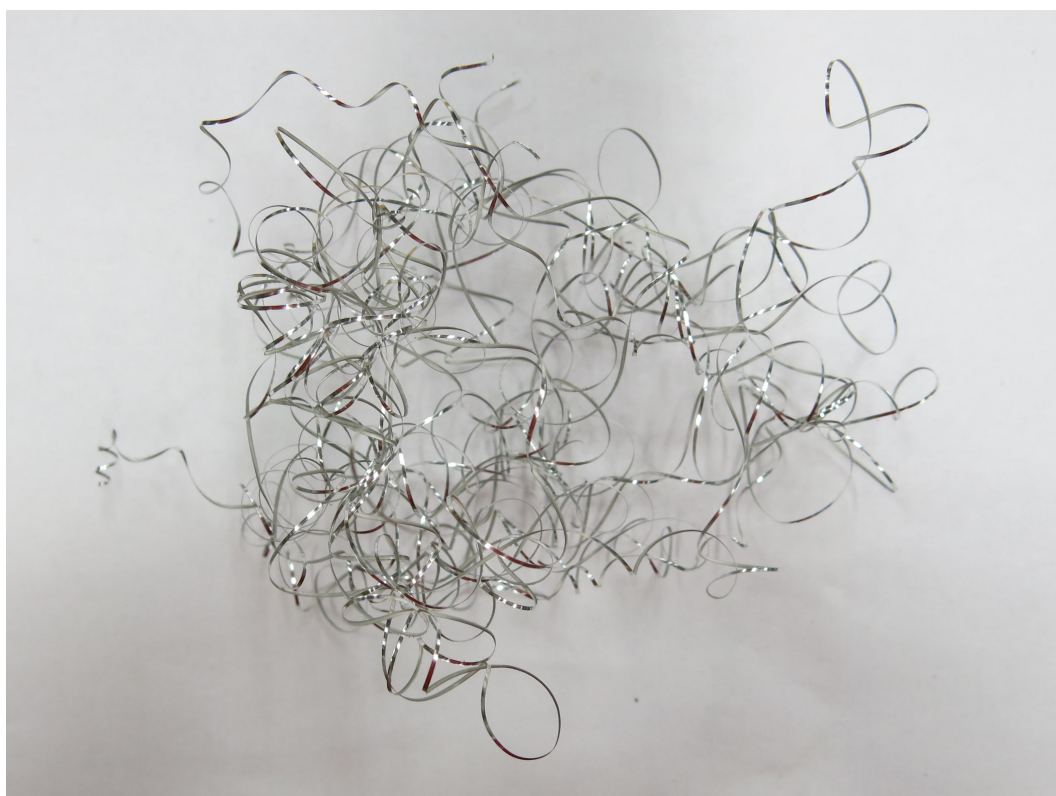
Průměrné hodnoty parametrů drsnosti povrchu jsou: $R_a = 0,52 \mu\text{m}$, $R_z = 3,15 \mu\text{m}$ a $c_{tp50} = 1,87 \mu\text{m}$. Porovnáním těchto hodnot s hodnotami naměřenými po soustružení s PK vodou, vychází hodnota parametru R_a o $0,03 \mu\text{m}$ vyšší, ale hodnota parametru R_z o $0,42 \mu\text{m}$ a c_{tp50} o $0,38 \mu\text{m}$ nižší. Tímto porovnáním se ukazuje, že PK ESOK 1.1B zlepšuje výsledné hodnoty parametrů drsnosti R_z a c_{tp50} a hodnotu R_a jen zanedbatelně zhoršuje.

Z Abbotových křivek vyplývá, že povrch má velmi pravidelný profil a podíl vzduchové a materiálové části je téměř stejný. Velmi dobrou odolnost proti opotřebení vykazuje nízká průměrná hodnota c_{tp50} , v porovnání s obrobeným povrchem s PK vodou.

1.1B	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	0,56	0,47	0,47	0,61	0,50	0,53	0,57	0,48	0,52	0,54	0,52	0,03
Rz [μm]	3,37	2,94	3,01	3,39	3,21	3,24	3,35	2,76	3,06	3,20	3,15	0,16
C_{tp50} [μm]	2,03	1,74	1,39	2,18	1,82	1,94	1,91	1,69	1,93	2,04	1,87	0,17

Tab. 10. Hodnoty parametrů drsnosti Ra, Rz a c_{tp50} po soustružení s PK ESOK 1.1B

Vzniklé třísky po soustružení slitiny hliníku s přívodem PK ESOK 1.1B (obr.16) mají tvar vinutý smotaný. Jako v předchozích případech je vhodné použít utvařecí třísek pro zabránění vzniku velkých smotků.



Obr. 16. Vzorek odebraných třísek po soustružení slitiny hliníku s přívodem PK ESOK 1.1B

8.6 Hodnocení soustruženého úseku zkušební vzorku s přívodem PK ESOK 1.1F

Poslední testovanou PK od firmy PARAMO, a.s. byla PK ESOK 1.1F. V tabulce 11 jsou uvedeny naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu Ra, Rz a c_{tp50} . V příloze 2.13. – 2.15. jsou zobrazeny Abbotovy křivky jednotlivých měření.

Průměrné hodnoty parametrů drsnosti povrchu jsou: $Ra = 0,49 \mu m$, $Rz = 3,27 \mu m$ a $c_{tp50} = 1,96 \mu m$. Porovnáním s hodnotami po soustružení

s PK vodou vychází stejná hodnota Ra, což ukazuje, že PK ESOK 1.1F tento parametr nijak neovlivňuje. Hodnota parametru Rz zde vychází o 0,30 μm menší podobně jako hodnota parametru c_{tp50} , která je o 0,29 μm menší. Z toho vyplývá, že PK ESOK 1.1F pozitivně ovlivňuje tyto dva parametry.

Z Abbotových křivek, které jsou opět mírně ve vyšší poloze grafu, je patrné, že povrch má téměř stejný profil jako po soustružení s PK vodou. Nižší hodnota c_{tp50} ale ukazuje větší odolnost než v případě povrchu obrobeného s PK vodou

1.1F	Číslo měření											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	(+,-)
Ra [μm]	0,54	0,52	0,53	0,54	0,51	0,44	0,47	0,50	0,43	0,47	0,49	0,03
Rz [μm]	3,71	3,53	3,58	3,40	3,60	2,60	3,00	3,29	2,84	3,17	3,27	0,28
Ctp50 [μm]	2,18	2,34	2,32	1,72	2,48	1,56	1,91	1,82	1,61	1,69	1,96	0,25

Tab. 11. Hodnoty parametrů drsnosti Ra, Rz a c_{tp50} po soustružení s PK ESOK 1.1F

Třísky vzniklé po soustružení slitiny hliníku s přívodem PK ESOK 1.1F (obr.17) mají tvar vinutý smotaný. Pro zabránění vytváření smotků se použije utvařecí třísek.



Obr. 17. Vzorek odebraných třísek po soustružení slitiny hliníku s přívodem PK ESOK 1.1F

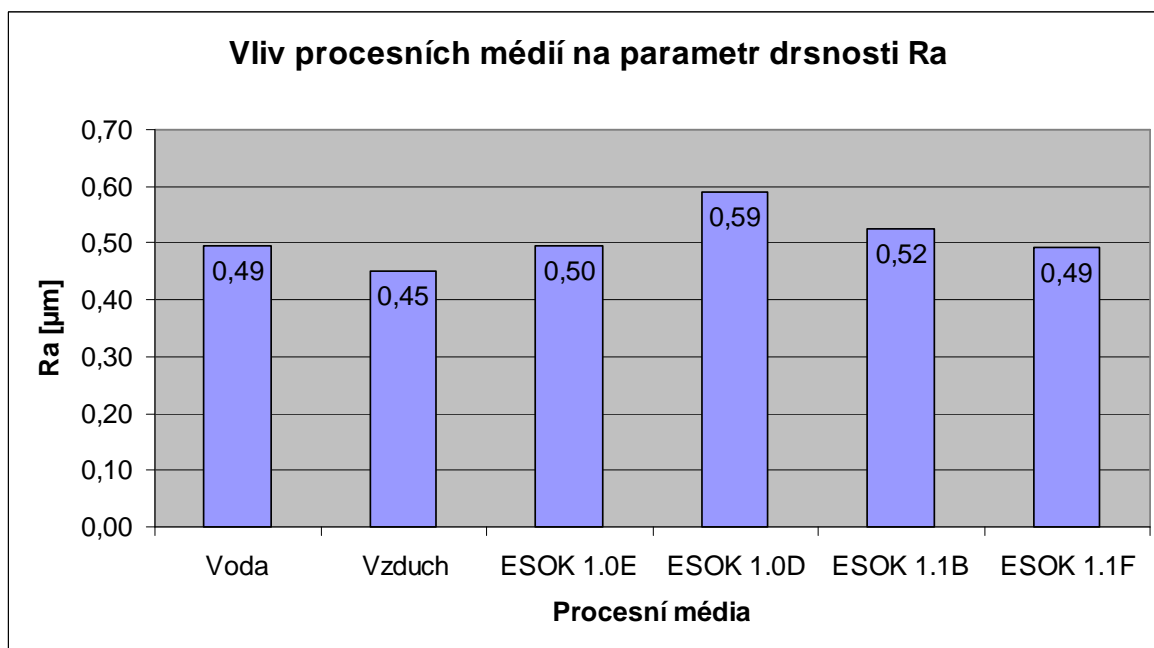
9 Vyhodnocení dosažených výsledků

V této části bakalářské práce se vyhodnocuje vliv procesních médií na zkušební vzorek ze slitiny hliníku s označením ČSN 424254 (dural). Nejprve se porovnávají jednotlivé parametry drsnosti. Postupně to jsou R_a , R_z a C_{tp50} . Následně se porovnává tvar vzniklých třísek.

9.1 Porovnání výsledků parametru drsnosti R_a po soustružení slitiny hliníku s procesními médii

V grafu 1 jsou vyneseny průměrné hodnoty parametru drsnosti povrchu R_a v závislosti na použitém procesním médiu při soustružení slitiny hliníku.

Z grafu je patrné, že nejlepší hodnota parametru drsnosti R_a je po obrábění bez použití PK, jeho hodnota je $0,45 \mu\text{m}$. Následují hodnoty povrchů vytvořené s PK vodou, ESOK 1.0E, ESOK 1.1B a ESOK 1.1F, které mají hodnotu R_a vyšší o $0,04$ až $0,07 \mu\text{m}$ než po soustružení bez PK. Nejhorší hodnotu R_a má PK ESOK 1.0D, která je o $0,14 \mu\text{m}$ vyšší než po soustružení bez PK.

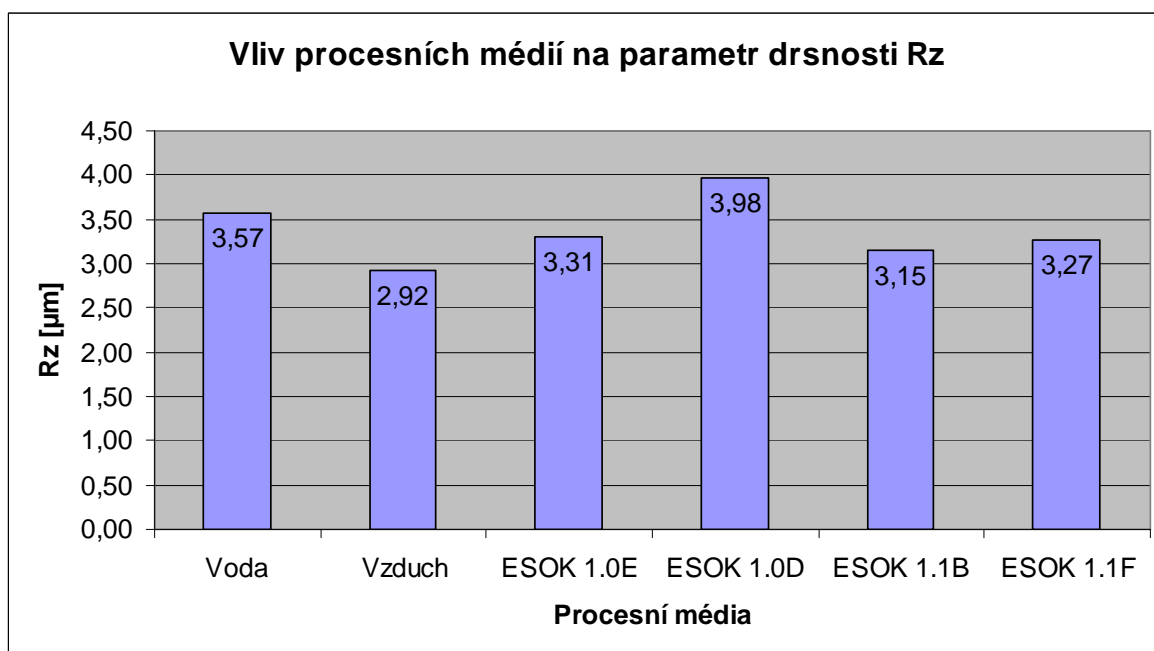


Graf 1. Závislost průměrné hodnoty R_a na procesním médiu

9.2 Porovnání výsledků parametru drsnosti R_z po soustružení slitiny hliníku s procesními médii

Průměrné hodnoty parametru drsnosti povrchu R_z v závislosti na použitém procesním médiu při soustružení slitiny hliníku jsou vyneseny v grafu 2.

V tomto případě je z grafu zřejmé, že nejlepší hodnota parametru drsnosti R_z je opět po soustružení slitiny hliníku bez přívodu PK. Jeho hodnota je $R_z = 2,92 \mu\text{m}$. Druhá nejlepší hodnota parametru R_z je po soustružení s přívodem PK ESOK 1.1B, která je jen o $0,23 \mu\text{m}$ vyšší než po soustružení bez PK. Poté následují PK ESOK 1.1F a ESOK 1.0E, které mají vyšší hodnotu R_z o $0,35 \mu\text{m}$ respektive o $0,39 \mu\text{m}$ než po soustružení bez PK. Druhým nejhorším procesním médiem z pohledu parametru R_z je PK voda, která má hodnotu R_z vyšší o $0,65 \mu\text{m}$. Nejhorší výsledek parametru drsnosti byl po soustružení s PK ESOK 1.0D, která je o $1,06 \mu\text{m}$ vyšší.

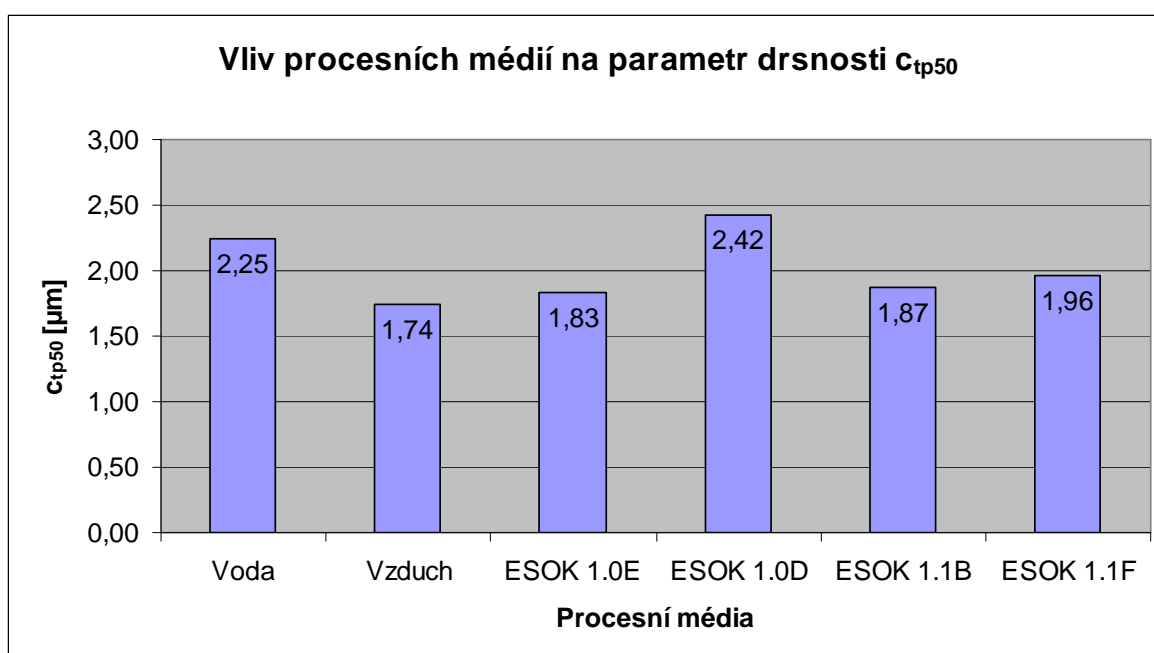


Graf 2. Závislost průměrné hodnoty R_z na procesním médiu

9.3 Porovnání výsledků parametru drsnosti c_{tp50} po soustružení slitiny hliníku s procesními médii

V grafu 3 jsou zobrazeny průměrné hodnoty parametru drsnosti povrchu c_{tp50} v závislosti na použitém procesním médiu při obrábění slitiny hliníku.

Z grafu se dá vyčíst, že nejlepší hodnota parametru drsnosti c_{tp50} je opět po soustružení slitiny hliníku bez přívodu PK a činí $1,74 \mu\text{m}$. Těsně za touto hodnotou jsou hodnoty soustruženého povrchu s PK ESOK 1.0E a ESOK 1.1B, které jsou vyšší pouze o $0,09 \mu\text{m}$ a $0,13 \mu\text{m}$. Na čtvrtém místě v hodnocení parametru c_{tp50} je povrch soustružený s PK ESOK 1.1F, který má hodnotu o $0,22 \mu\text{m}$ vyšší než po soustružení bez PK. Druhým nejhorším procesním médiem z pohledu parametru drsnosti c_{tp50} je PK voda, která zaostává za soustružením bez PK o $0,51 \mu\text{m}$. Nejhorším procesním médiem z pohledu výsledné hodnoty drsnosti povrchu c_{tp50} je PK ESOK 1.0D, která má hodnotu o $0,68 \mu\text{m}$ vyšší než po soustružení bez PK.



Graf 3. Závislost průměrné hodnoty c_{tp50} na procesním médiu

9.4 Porovnání tvarů třísek po soustružení slitiny hliníku s různými procesními médii

Fotografie vzorků vzniklých třísek po soustružení s různými procesními médii jsou na obrázcích 12 - 17.

Při jejich porovnání jsou všechny vzniklé třísky téměř stejné a to vinuté smotané. Jen tříska po soustružení bez PK má nepatrně jiný tvar a to v podobě mírně zvětšených poloměrů zahnutí třísek oproti ostatním.

Z důvodu tvorby těchto třísek se na soustruhu utvářejí velké smotky, které by mohly poškodit obrobek nebo nástroj. Řešením tohoto nedostatku je použití vhodného utvařeče třísek.

10 Závěr

Téma této bakalářské práce (zjišťování vlivu procesních kapalin z firmy PARAMO, a.s. na technologii soustružení a jakost obrobeného povrchu při obrábění slitiny hliníku) souvisí s řešením projektu technologické agentury České republiky (TAČR). Projekt se nazývá “Ekologické obráběcí kapaliny nové generace” a jeho číslo je TA2-1332.

Na základě tohoto projektu nám firma PARAMO, a.s. ze svého portfolia poskytla koncentráty čtyř syntetických procesních kapalin na bázi vody. Jejich názvy jsou:

- ESOK 1.0E (obsahuje polyalkylenglykol nižší viskozity),
- ESOK 1.0D (obsahuje polyalkylenglykol střední viskozity),
- ESOK 1.1B (obsahuje směs polyalkylenglykolů střední a nižší viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na esterech kyseliny fosforečné),
- ESOK 1.1F (obsahuje polyalkylenglykol velmi vysoké viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na esterech kyseliny fosforečné).

Tyto vybrané procesní kapaliny obsahují korozní inhibitor, biocidní a protipěnovací systém a v závorkách jsou uvedeny rozdílné přísady. Všechny byly namíchány s vodou z vodovodního řádu v koncentraci 5 %, kterou doporučila firma PARAMO, a.s. Pro porovnání byly použity procesní média:

- voda,
- vzduch.

Úkolem bylo zjistit vliv těchto šesti procesních médií na jakost obrobeného povrchu slitiny hliníku, konkrétně na parametry drsnosti R_a , R_z a c_{tp50} a tvar vzniklých třísek.

Všechny experimenty na soustruhu proběhly dle předpokladu bez jakýchkoliv komplikací. Následné měření a vyhodnocení naměřených hodnot bylo úspěšné bez zjevných nedostatků.

Nyní se postupně procentuelně porovnají průměrné hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a c_{tp50} . K tomu je vhodné použít graf 4, ve kterém jsou procentuálně vyneseny všechny průměrné hodnoty posuzovaných parametrů

drsnosti, pro jednodušší představu. V poslední části závěru je celkové vyhodnocení vhodnosti jednotlivých procesních médií na soustružení slitiny hliníku.

Pro porovnání všech procesních médií z hlediska hodnot prvního parametru Ra poslouží tabulka 12, ve které je jako vzorová hodnota Ra po soustružení slitiny hliníku s PK vodou.

Procesní média	Průměrné hodnoty parametru drsnosti Ra (μm)	Procentuální vyjádření průměrných hodnot parametru drsnosti Ra (%)
Voda – vzorové procesní médium	0,49	100
Vzduch	0,45	92
ESOK 1.0E	0,50	102
ESOK 1.0D	0,59	120
ESOK 1.1B	0,53	108
ESOK 1.1F	0,49	100

Tab. 12. Průměrné hodnoty parametru drsnosti Ra a jejich procentuální vyjádření

Z tabulky 12 je patrné, že nejlepší průměrné hodnoty parametru drsnosti Ra bylo dosaženo po soustružení slitiny hliníku bez přívodu PK. Tato hodnota je o 8 % lepší než po soustružení s PK vodou.

Při porovnání hodnot Ra po soustružení s PK od firmy PARAMO, a.s. vychází jako nejlepší PK ESOK 1.1F a ESOK 1.0E, které mají přibližně stejné hodnoty Ra jako po soustružení s PK vodou. Slabšího výsledku, konkrétně o 8 %, bylo dosaženo s PK ESOK 1.0D. Jako nejhorší PK od firmy PARAMO, a.s. z hlediska hodnoty parametru Ra je PK ESOK 1.0D, po které byla o 20 % vyšší hodnota Ra než po soustružení s PK vodou.

Pro porovnání všech procesních médií z hlediska druhého parametru drsnosti Rz slouží tabulka 13, ve které je také vzorová hodnota Rz po soustružení s PK vodou.

Procesní média	Průměrné hodnoty parametru drsnosti Rz (μm)	Procentuální vyjádření průměrných hodnot parametru drsnosti Rz (%)
Voda - vzorové procesní médium	3,57	100
Vzduch	2,92	82
ESOK 1.0E	3,31	93
ESOK 1.0D	3,98	111
ESOK 1.1B	3,15	88
ESOK 1.1F	3,27	92

Tab. 13. Průměrné hodnoty parametru drsnosti Rz a jejich procentuální vyjádření

Z hodnot v tabulce 13 je zřejmé, že nejlepší průměrné hodnoty parametru drsnosti R_z bylo dosaženo opět po soustružení slitiny hliníku bez přívodu PK. Tato hodnota je o 18 % lepší než po soustružení s PK vodou.

Porovnáním hodnot R_z po soustružení s PK od firmy PARAMO, a.s. vychází velmi podobně PK ESOK 1.1B, ESOK 1.1F a ESOK 1.0E. Ty mají o 12 - 7 % lepší hodnoty parametru drsnosti R_z než po soustružení s PK vodou. Opakem je PK ESOK 1.0D, která má průměrnou hodnotu R_z o 11 % vyšší než po soustružení s PK vodou. V porovnání s ostatními třemi PK od firmy PARAMO, a.s. má tuto hodnotu R_z o 17 - 21 % horší.

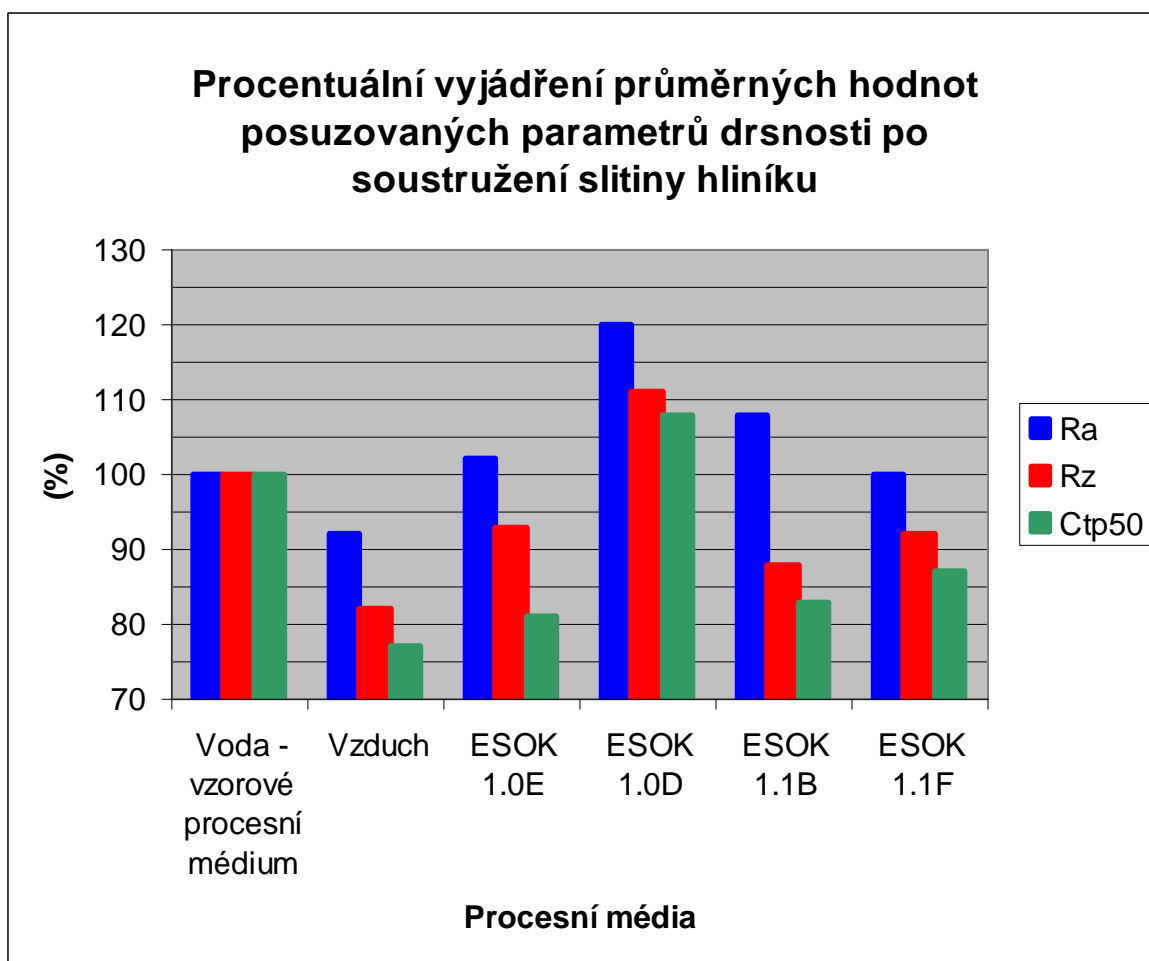
Pro srovnání všech hodnocených procesních médií z hlediska parametru drsnosti c_{tp50} poslouží tabulka 14, ve které je opět vzorová hodnota po soustružení s PK vodou.

Procesní média	Průměrné hodnoty parametru drsnosti c_{tp50} (μm)	Procentuální vyjádření průměrných hodnot parametru drsnosti c_{tp50} (%)
Voda - vzorové procesní médium	2,25	100
Vzduch	1,74	77
ESOK 1.0E	1,83	81
ESOK 1.0D	2,42	108
ESOK 1.1B	1,87	83
ESOK 1.1F	1,96	87

Tab. 14. Průměrné hodnoty parametru drsnosti c_{tp50} a jejich procentuální vyjádření

Hodnoty v tabulce 14 ukazují, že nejlepší průměrné hodnoty parametru drsnosti c_{tp50} bylo dosaženo opět po soustružení slitiny hliníku bez přívodu PK. Tato hodnota je o 23 % lepší než po soustružení s PK vodou.

Při porovnání hodnot c_{tp50} po soustružení s PK od firmy PARAMO, a.s. nejlépe vychází PK ESOK 1.0E a PK ESOK 1.1B, které mají lepší hodnoty o 19 – 17 % než po soustružení s PK vodou. Těsně za těmito hodnotami je povrch po soustružení s PK ESOK 1.1F, který má o 13 % lepší hodnotu než po soustružení s PK vodou. V porovnání s předchozími dvěmi hodnocenými PK má o 7 – 6 % horší hodnoty c_{tp50} . Opět kvalitativně nejslabší PK od firmy PARAMO, a.s. tentokrát z hlediska parametru drsnosti c_{tp50} je PK ESOK 1.0D, která má hodnotu c_{tp50} o 8 % horší než po soustružení s PK vodou, respektive o 24 % horší hodnotu c_{tp50} než nejlepší PK od firmy PARAMO, a.s. PK ESOK 1.0E.



Graf 4. Procentuální vyjádření průměrných hodnot posuzovaných parametrů drsnosti po soustružení slitiny hliníku

V grafu 4 je procentuální vyjádření průměrných hodnot posuzovaných parametrů drsnosti po soustružení slitiny hliníku. Z těchto výsledků je názorně vidět, že jako nejvhodnější procesní médium pro soustružení slitiny hliníku je vzduch, nebo-li soustružení “na sucho“. Ve všech měřených parametrech drsnosti je toto soustružení bez procesní kapaliny nejlepší. To je pravděpodobně zapříčiněno tím, že se na špičce nástroje vytvoří poměrně stabilní nárůstek, který pozitivně ovlivňuje výsledný povrch. Při použití procesních kapalin se také pravděpodobně vytváří nárůstek, ale ten není stabilní a nahodile během soustružení vzniká a rozpadá, čímž způsobuje horší obrobený povrch. Tento výsledek se může zdát jako překvapující, že nejlepších dosažených hodnot vybraných parametrů drsnosti se dosáhlo po soustružení bez přívodu procesní kapaliny a tím dojít k závěru, že nejlepší je obrábět bez přívodu procesní kapaliny. To je ovšem způsobeno tím, že se hodnotily pouze tyto parametry drsnosti.

Při zkoumání dalších veličin, například parametrů integrity povrchu či životnosti nástroje, by výsledek už nebyl pravděpodobně tak příznivý pro soustružení bez přívodu procesní kapaliny, neboť vzniklé teplo by tyto prvky velmi negativně ovlivnilo.

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo porovnat a vyhodnotit procesní kapaliny od firmy PARAMO, a.s. při soustružení slitiny hliníku ČSN 424254 (dural). Z dosažených výsledků vycházejí jako nejlepší procesní kapaliny ESOK 1.0E a ESOK 1.1B obsahující ve svém složení shodně přísadu polyalkylenglykol nižší viskozity, která zřejmě zajišťuje tyto výborné hodnoty. Další vhodná, téměř se stejnými výsledky, je ESOK 1.1F mající naopak přísadu polyalkylenglykol vysoké viskozity. Nejhorších výsledků u hodnocených parametrů bylo dosaženo s procesní kapalinou ESOK 1.0D. To je pravděpodobně vlivem přísady polyalkylenglykol střední viskozity.

Při porovnání třísek uvedených na obrázcích 12 – 17 je vidět, že jsou téměř identické, neboť všechny mají tvar vinutý smotaný. Tento tvar třísky, vznikající při soustružení zkušebního vzorku, má sklon k utváření velkých smotků, které by mohly zanést stroj a tím způsobit nečekané problémy. Například se může jednat o poškození nástroje v horším případě o poškození samotného obrobku, konkrétně jeho povrchu. Z tohoto důvodu by se měl u soustružení zvolené slitiny hliníku použít vhodný utvařecí třísek.

Při výběru z nejlépe hodnocených procesních kapalin ESOK 1.0E, ESOK 1.1B, popřípadě ESOK 1.1F od firmy PARAMO, a.s. pro soustružení slitiny hliníku ČSN 424254 je nutné porovnat jejich cenu a životnost stanovenou po dokončení vývoje.

Seznam použité literatury

- [1] ČÍPOVÁ, I. *Příručka základů soustružení*. 1. vyd. Kopřivnice: VOŠ, SOŠ A SOU Kopřivnice, listopad 2012 [cit. 5. ledna 2014]. Dostupné na: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U03_Prirucka_zakladu_soustruzeni.pdf
- [2] *Soustružení* (základní pojmy). [online]. Září 2008. [cit. 5. ledna 2014]. Dostupné na: http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Soustružení.pdf
- [3] *Soustružení* (základní pojmy). [online]. Červen 2004. [cit. 5. ledna 2014]. Dostupné na: <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep17.pdf>
- [4] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z., aj. *Obrábění*. Rec. J. Houdek, aj. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984. 808 s. ISBN -.
- [5] *Soustruh* (základní informace). [online]. [cit. 7. ledna 2014]. Dostupné na: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soustruh>
- [6] *Upínání obrobku při soustružení*. [online]. [cit. 7. ledna 2014]. Dostupné na: <http://encyklopedie.vseved.cz/up%C3%ADn%C3%A1n%C3%AD+obrobku+p%C5%99i+soustru%C5%BEen%C3%AD>
- [7] VÁCLAVEK, J. *Nástroje pro soustružení*. [Bakalářská práce]. Brno, VUT v Brně, 2010. 55 s.
- [8] *Upínání obrobků a soustružení*. [online]. Antonín Palko, duben 2011. [cit. 6. ledna 2014]. Dostupné na: <http://palkozet.wordpress.com/servis-a-opravy/upinani-obrobku-a-soustruzeni>
- [9] *Technologie strojního obrábění*. [online]. Václav Kališ, leden 2004. [cit. 6. ledna 2014]. Dostupné na: <http://mail.sstzr.cz/web/download/cat1/technologie-strojního-obrabení.pdf>

- [10] VINTR, J. *Supertvrdé řezné materiály a jejich efektivní využití*. [Bakalářská práce]. Zlín, UTB ve Zlíně, 2006. 67 s.
- [11] *Skripta technologie II 1.díl*. [online]. Listopad 2011. [cit. 7. ledna 2014]. Dostupné na:
http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf
- [12] *Tool life*. (Životnost nástroje). [online]. [cit. 7. ledna 2014]. Dostupné na:
http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general_turning/how-to-achieve-good-component-quality/tool-life/pages/default.aspx
- [13] HLUCHÝ, M., VANĚK, V. *Strojírenská technologie 2*. 2. vyd. Praha: Scientia, spol. s.r.o., 2001, 175 s. ISBN 80-7183-245-6
- [14] *Vlastnosti Al a jeho slitin*. [online]. Doc. Ing. Štefan Michna PhD. [cit. 7. ledna 2014]. Dostupné na:
http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy_II/vlastnosti_AL_a_jeho_slitin.pdf
- [15] BAMBULA, M. *Hodnocení obrobiteľnosti slitin hliníku – kriteria hodnocení*. [Bakalářská práce]. Brno, VUT v Brně, 2008. 27 stran.
- [16] SLAVÍČEK, J. *Hliník a jeho slitiny v automobilovém průmyslu*. [Bakalářská práce]. Brno, VUT v Brně, 2011. 28 s.
- [17] *Obrábění slitiny AlSi1Mg0,5Mn nástroji s progresivními tenkými vrstvami*. [online]. Plzeň: Antonín Kříž, Miroslav Zetek, aj., říjen 2007. [cit. 12. května 2014]. Dostupné na:
http://www.ateam.zcu.cz/download/prispevek_Aluminium07.pdf
- [18] *Zvláštnosti třískového obrábění vybraných materiálových skupin*. [online]. Ing. Petr Borovan, 2012. [cit. 12. května 2014]. Dostupné na:
<http://www.t-support.cz/t-support/?rubrika=1461>

- [19] *Řezné podmínky při obrábění* (podklad pro výuku předmětu TECHNOLOGIE III – OBRÁBĚNÍ). [online]. Liberec: TU v Liberci, březen 2001. [cit. 12. května 2014]. Dostupné na:
http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_rp.pdf
- [20] BUMBÁLEK, B., OŠŤÁDAL, B., ŠAFR, E. *Řezné kapaliny*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1963. 136 s. ISBN -.
- [21] HUŠEK, P. *Zjišťování vlivu procesních kapalin z firmy NOCC, a.s. Praha na technologii soustružení a jakost obrobeného povrchu*. [Bakalářská práce]. Liberec, TU v Liberci, 2012. 52 s.
- [22] NOVÁČEK, P. *Moderní chladicí kapaliny pro obrábění*. [Bakalářská práce]. Brno, VUT v Brně, 2012. 43 s.
- [23] STŘELCOVÁ, R. *Řezné kapaliny a jejich uplatnění v moderní výrobě*. [Bakalářská práce]. Brno, VUT v Brně, 2008. 48 s.
- [24] Bc. PETŘÍK, V. *Využití různých systémů chlazení pro obrábění materiálů*. [Diplomová práce]. Zlín, UTB ve Zlíně, 2011. 107 s.
- [25] *Řezná kapalina*. [online]. [cit. 27. dubna 2014]. Dostupné na:
http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ezn%C3%A1_kapalina
- [26] *Mikroemulze pro obrábění hliníku*. [online]. Ing. Petr Kříž, únor 2011. [cit. 27. dubna 2014]. Dostupné na:
<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22011/mikroemulze-pro-obrabeni-hliniku.html>
- [27] *Vývoj kapalin pro obrábění hliníku*. [online]. Ing. Petr Kříž, říjen 2012. [cit. 27. dubna 2014]. Dostupné na:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyvoj-kapalin-pro-obrabeni-hliniku.html>
- [28] *Kvalita a integrita obrábění*. [online]. Prof. Dr. Ing. Josef Brychta, listopad 2012. [cit. 28. dubna 2014]. Dostupné na:
http://integrita.zcu.cz/download/skola1/ostrava_prez2.pdf

- [29] MÁDL, J., HOLEŠOVSKÝ, F., aj. *Integrita obrobených povrchů z hlediska funkčních vlastností*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Universita J.E. Turkyňe, FVTM, 2008. 230 s. ISBN 978-80-7414-095-2
- [30] *Struktura povrchu*. [online]. Ing. Lukáš Procházka, leden 2013. [cit. 28. dubna 2014]. Dostupné na: http://www.sps-prosek.cz/soubory/M/TD/TD-struktura_povrchu.pdf
- [31] DRASKÝ, P. *Poznámky k materiálovému poměru profilu*. VŠST Liberec, 1998. 10 s.
- [32] *Kovonástroje VBD PRAMET - TPUN 160304 ;8230*. [online]. [cit. 16. března 2014]. Dostupné na: <http://www.kovonastroje.cz/Nastroje-pro-kovoobrabeni/Frezovani/Frezy/Desticky-pro-frezy-VBD/Tvar-T/VBD-PRAMET-TPUN-160304-8230.html>
- [33] *Druhy a utváření třísek* (přednáška TECHNOLOGIE III – OBRÁBĚNÍ). [online]. Liberec: TU v Liberci, červen 2013. [cit. 16. března 2014]. Dostupné na: http://educom.tul.cz/educom/inovace/TOB/VY_03_33-druhy%20a%20utv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20t%C5%99%C3%ADsek_MZ_6.pdf
- [34] ČSN ISO 8688 – 1. Rezné nástroje. Testovanie trvanlivosti pri frézovaní. Časť 1: Rovinné frézovanie. 1992. Praha. Centrum služeb pro normalizaci.
- [35] *Hliník a jeho slitiny podklady*. [online]. Liberec: TU v Liberci, březen 2005. [cit. 20. dubna 2014]. Dostupné na: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/NOM2/HLINIK_a_jeho_slitiny_podklady.ppt
- [36] *Drsnoměry měření jakosti povrchu*. (Katalog). [online]. České Budějovice: Kuboušek s.r.o., duben 2006. [cit. 20. dubna 2014]. Dostupné na: <http://kubousek.com/katalogy/Mitutoyo/prospekty/Drsnomery/pdf/drsnomery.pdf>

Seznam obrázků

- Obr. 1. Výpočet parametrů drsnosti Ra a Rz včetně schematického zobrazení
- Obr. 2. Soustruh SU50
- Obr. 3. Soustružnický nůž NAREX CTAPR 25 25 M16
- Obr. 4. Vyměnitelná břitová destička TPUN 160304; 8230
- Obr. 5. Ruční refraktometr RLC ATC K71901
- Obr. 6. Profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000
- Obr. 7. Upnutí soustružnického nože
- Obr. 8. Upnutí zkušebního vzorku
- Obr. 9. Přídavný systém pro přívod procesní kapaliny
- Obr. 10. Tvary třísek podle normy ISO 3685
- Obr. 11. Obrazovka programu Surfpak a označené odečítané hodnoty parametrů
- Obr. 12. Vzorek odebraných třísek po soustružení slitiny hliníku s přívodem PK vody
- Obr. 13. Vzorek odebraných třísek po soustružení slitiny hliníku bez přívodu PK
- Obr. 14. Vzorek odebraných třísek po soustružení slitiny hliníku s přívodem PK ESOK 1.0E
- Obr. 15. Vzorek odebraných třísek po soustružení slitiny hliníku s přívodem PK ESOK 1.0D
- Obr. 16. Vzorek odebraných třísek po soustružení slitiny hliníku s přívodem PK ESOK 1.1B
- Obr. 17. Vzorek odebraných třísek po soustružení slitiny hliníku s přívodem PK ESOK 1.1F

Seznam tabulek a grafů

- Tab. 1. Orientační hodnoty řezných rychlostí pro soustružení slitin hliníku
- Tab. 2. Základní parametry soustruhu SU50
- Tab. 3. Parametry vyměnitelné břitové destičky TPUN 160304; 8230
- Tab. 4. Hodnoty K_{SKUT} , r_i a K_{REF} procesních kapalin od firmy PARAMO, a.s.
- Tab. 5. Podmínky experimentů
- Tab. 6. Hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a c_{tp50} po soustružení s PK vodou
- Tab. 7. Hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a c_{tp50} po soustružení bez PK
- Tab. 8. Hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a c_{tp50} po soustružení s PK ESOK 1.0E
- Tab. 9. Hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a c_{tp50} po soustružení s PK ESOK 1.0D
- Tab. 10. Hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a c_{tp50} po soustružení s PK ESOK 1.1B
- Tab. 11. Hodnoty parametrů drsnosti R_a , R_z a c_{tp50} po soustružení s PK ESOK 1.1F
- Graf 1. Závislost průměrné hodnoty R_a na procesním médiu
- Graf 2. Závislost průměrné hodnoty R_z na procesním médiu
- Graf 3. Závislost průměrné hodnoty c_{tp50} na procesním médiu
- Tab. 12. Průměrné hodnoty parametru drsnosti R_a a jejich procentuální vyjádření
- Tab. 13. Průměrné hodnoty parametru drsnosti R_z a jejich procentuální vyjádření
- Tab. 14. Průměrné hodnoty parametru drsnosti c_{tp50} a jejich procentuální vyjádření
- Graf 4. Procentuální vyjádření průměrných hodnot posuzovaných parametrů drsnosti po soustružení slitiny hliníku

Seznam příloh

Technické parametry Mitutoyo SV-2000.....	1.1.
Specifikace slitiny hliníku ČSN 424254	1.2.
Abbotovy křivky patřící úseku po soustružení s PK vodou	2.1.
Abbotovy křivky patřící úseku po soustružení bez PK	2.3.
Abbotovy křivky patřící úseku po soustružení s PK ESOK 1.0E	2.6.
Abbotovy křivky patřící úseku po soustružení s PK ESOK 1.0D	2.8.
Abbotovy křivky patřící úseku po soustružení s PK ESOK 1.1B	2.11.
Abbotovy křivky patřící úseku po soustružení s PK ESOK 1.1F	2.13.

Technické parametry Mitutoyo SV-2000 [36]

Špičková technologie s hlubokou znalostí pro plnohodnotné měření jakosti povrchu v měrovém středisku i laboratoři.

SV-2000

Zdvih (rozsah osy Z): 800 μm
Posuv (rozsah osy X): 50 mm

SURFTEST SV-2000

Perfektní měření vzhledem k referenční rovině v mobilním i stacionárním nasazení.

- měření drsnosti, vlnitosti a primárního profilu
- funkce automatické kalibrace se všemi snímači
- zdvih snímače 800 μm
- dělení 0,0001 μm
- posuv volitelný (osa X) 50 mm
- nejmenší Cut-off 0,025 mm
- odchylka přímosti vedení 0,3 $\mu\text{m}/50\text{ mm}$
- přímost vedení zajištěna keramikou
- početné snímači doteky pro různé měřicí úlohy
- jednoduchá výměna snímače
- možnost připojení systému na PC
- standardně se software SURFPAK
- bohaté spektrum příslušenství



Vyhodnocení v software SURFPAK SV



Software SURFPAK SV

55 parametrů

Ra, Rq, Ry, Rz, R3z, Rt, Rp, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2, S, Sm, Pc, mr, A1, A2, Rv, R, Rx, W, Wx, Wte, mrd, HSC, AW, AR, Vo, Δa , Δq , Ku, σ_c , Lo, Sk, Rti, R3zi, R3y, Rc, Rpmx, Rpl, Rvmax, plateau ratio, λa , λq , Lr, SR, SAR, NR, NCRX, CPM, SW, SAW, NW, Vo



Mitutoyo

Specifikace slitiny hliníku

Hliník AlCu4BiPb - ČSN 424254

Chemické složení (hm. %)

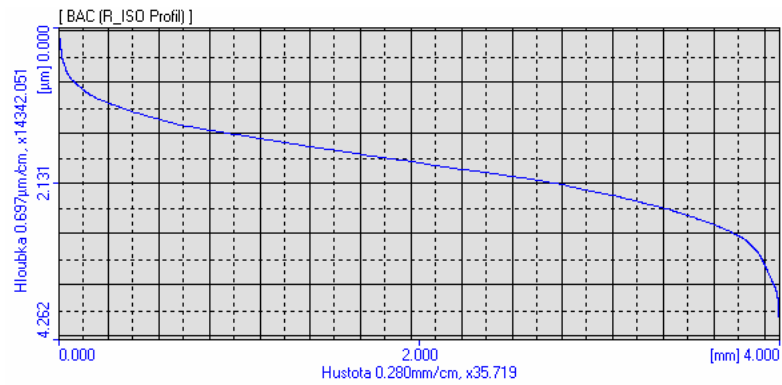
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ni	Ostatní	Al
min			3.00	0.30	0.40					Fe+Bi 0.50 - 1.50	zbyt
max	1.00	1.00	5.00	1.50	1.50		0.70		0.30	Sn+Cd 0.40	

Ekvivalentní materiály

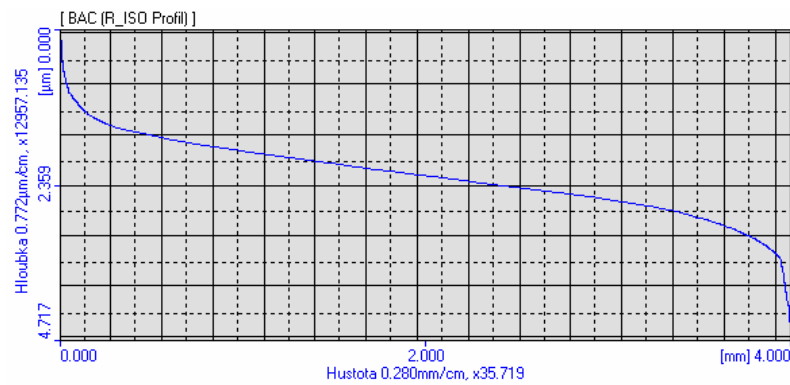
Stát	Norma	Materiál	Číslo materiálu
EN	EN 573-3	AW-AlCu4PbMg	AW-2030
	EN 573-3	AW-AlCu4PbMgMn	AW-2007
IS	ISO 209-1	AlCu4PbMg	
US	ASTM Al, Ass.	2007	A92007
	ASTM Al, Ass.	2030	A92030
D	DIN 1725 T.1	AlCuMgPb	3.1645

Charakteristické vlastnosti a použití

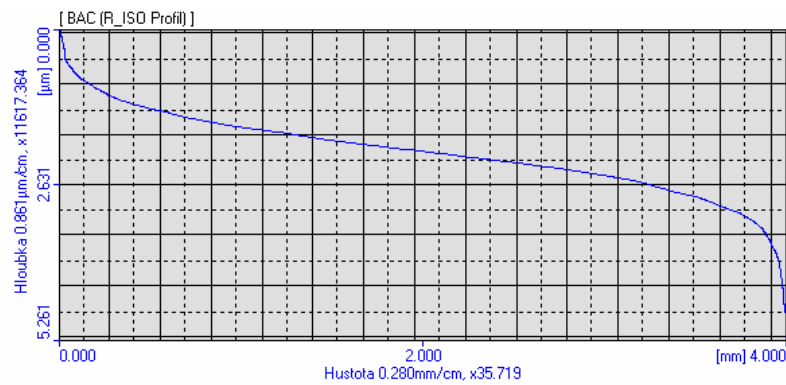
Střední pevnost dosažená tepelným zpracováním slitiny s krátkou třískou, tedy vhodná pro zpracování na automatech. Pro jemnou mechaniku, optiku apod.



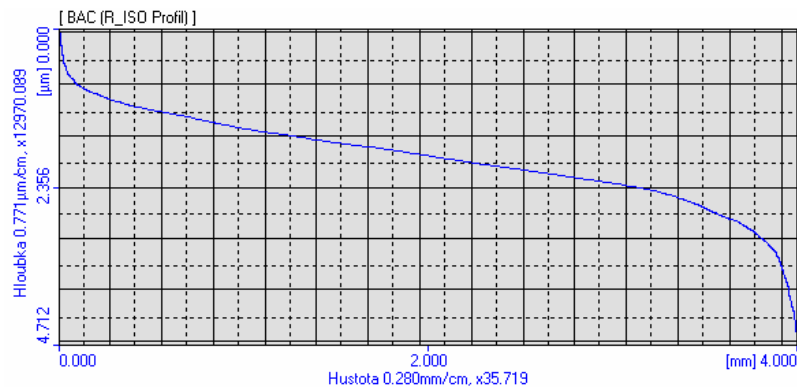
1. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK vody



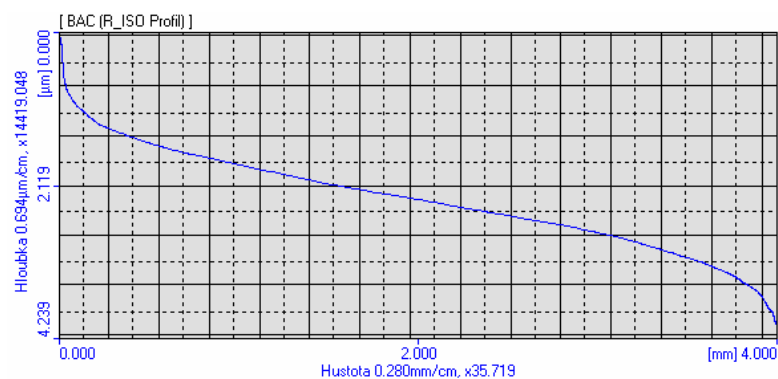
2. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK vody



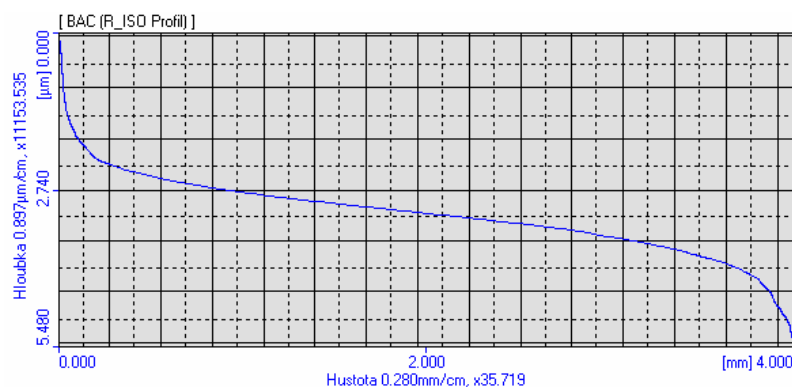
3. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK vody



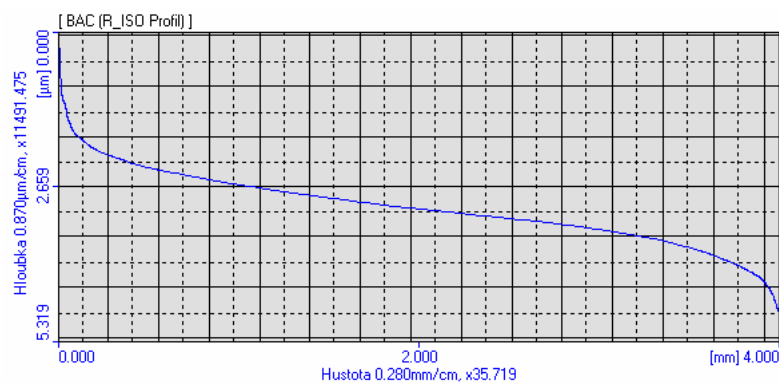
4. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK vody



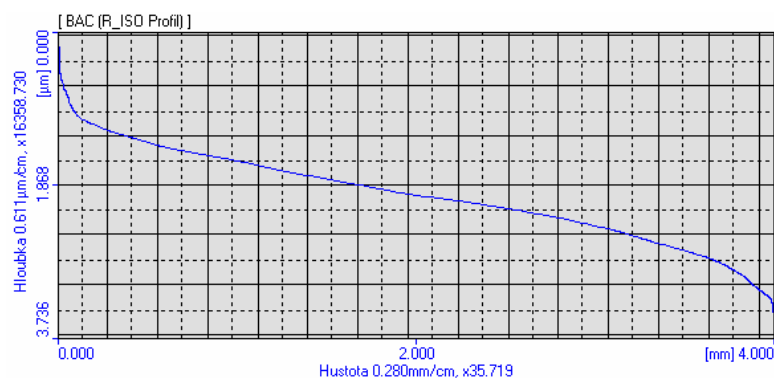
5. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK vody



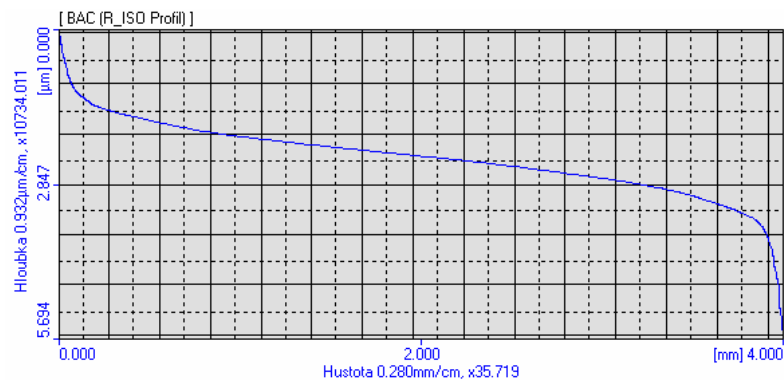
6. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK vody



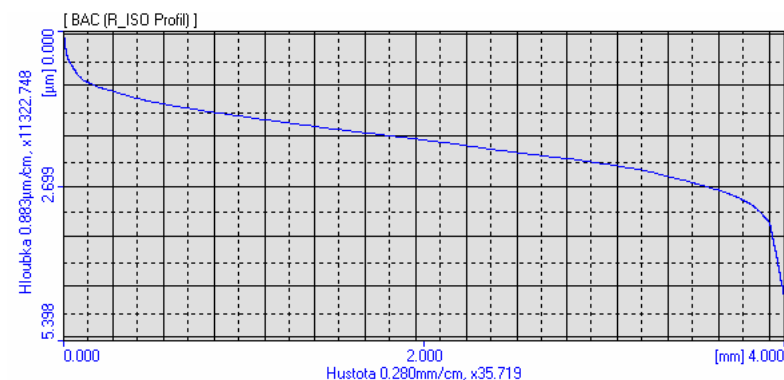
7. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK vody



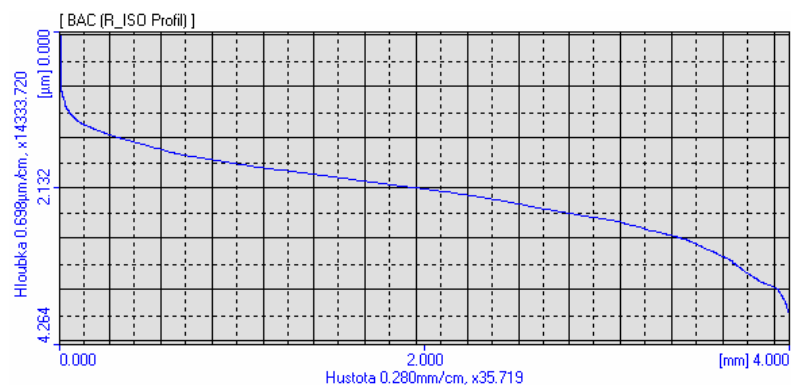
8. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK vody



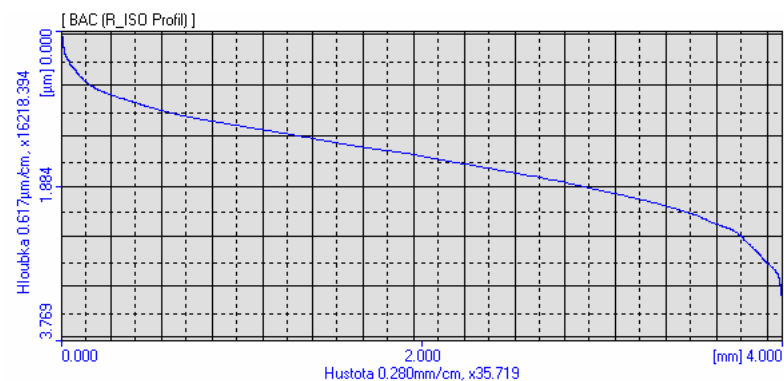
9. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK vody



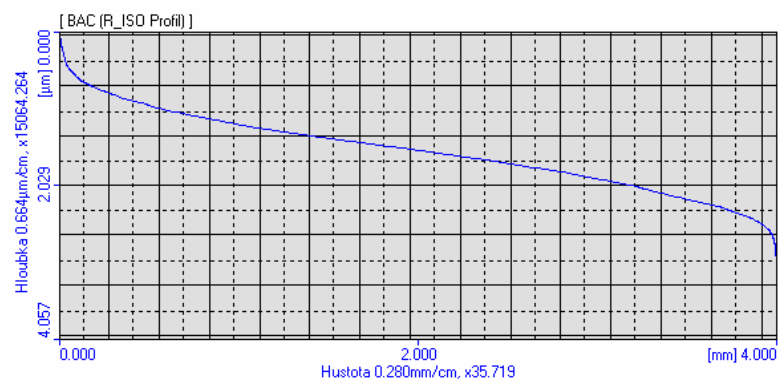
10. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK vody



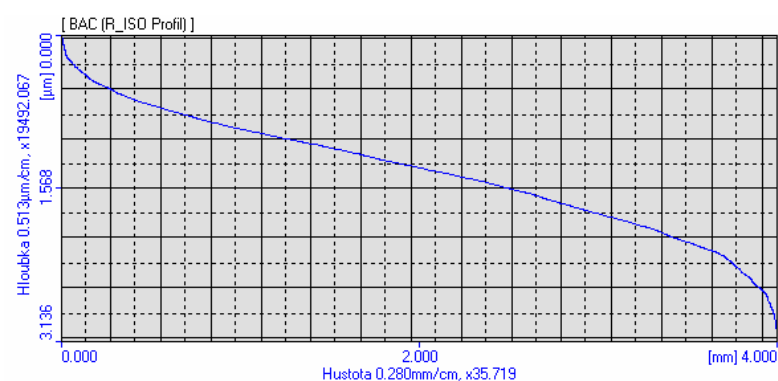
1. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením bez přívodu PK



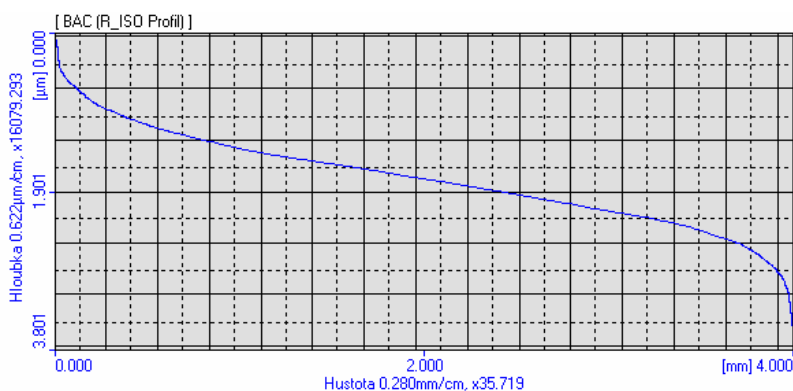
2. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením bez přívodu PK



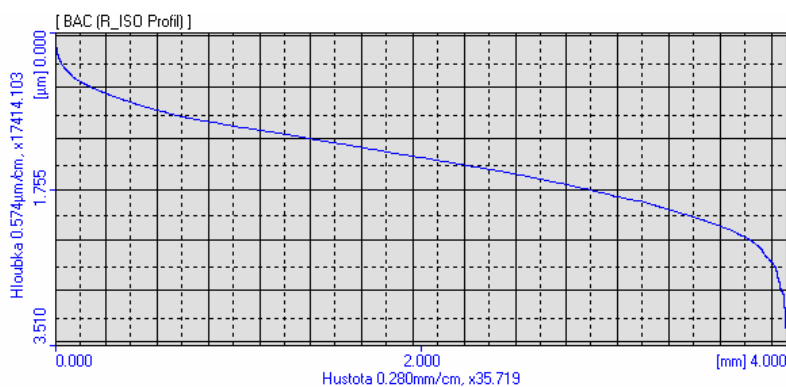
3. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením bez přívodu PK



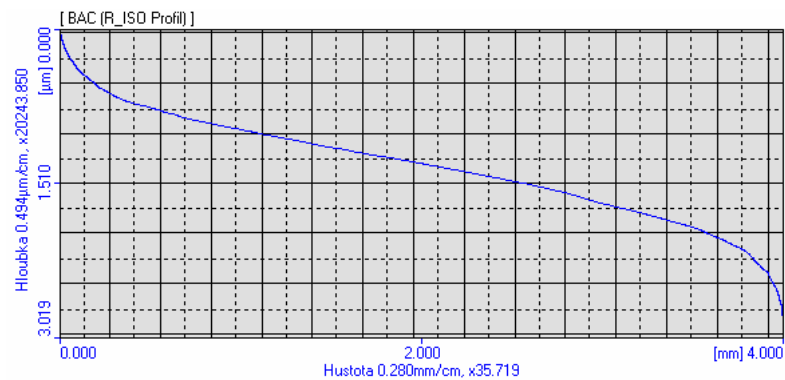
4. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením bez přívodu PK



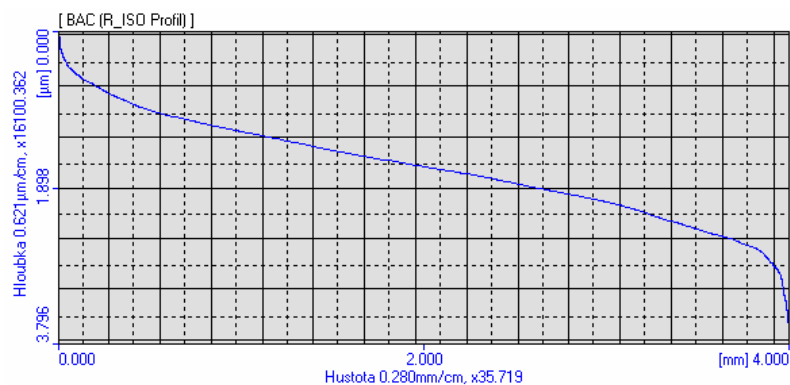
5. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením bez přívodu PK



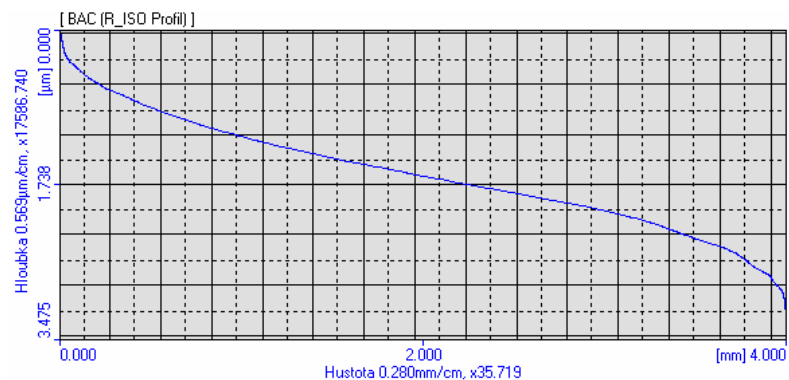
6. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením bez přívodu PK



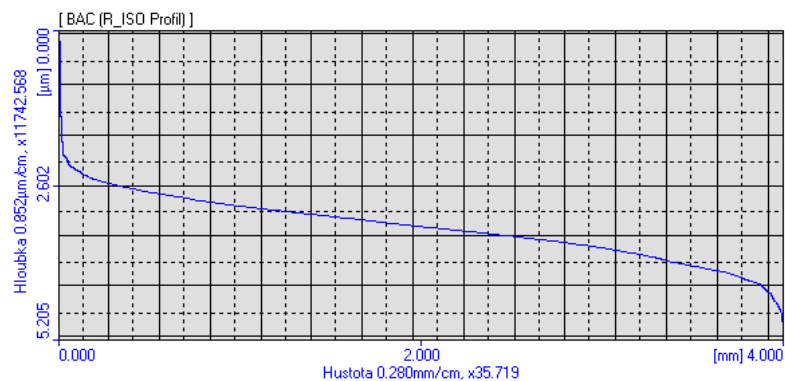
7. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením bez přívodu PK



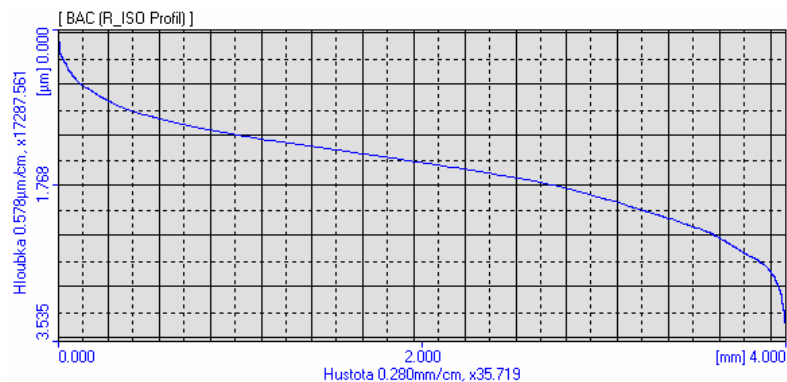
8. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením bez přívodu PK



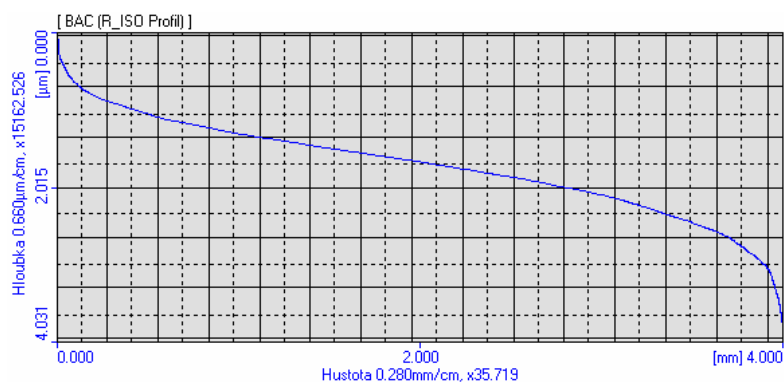
9. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením bez přívodu PK



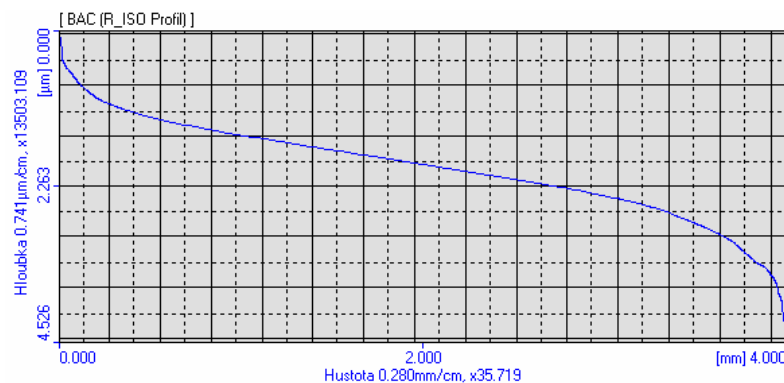
10. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením bez přívodu PK



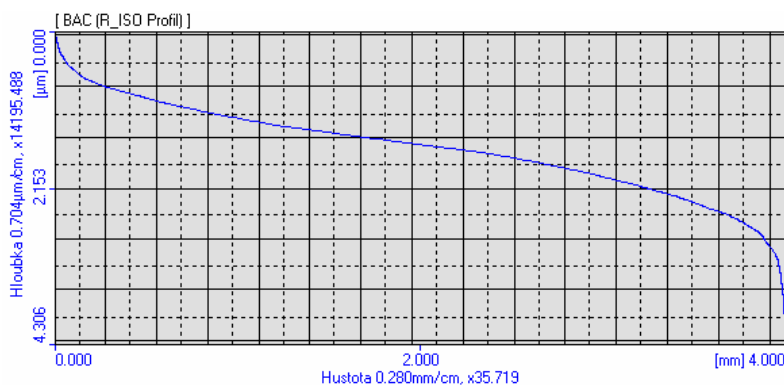
1. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0E



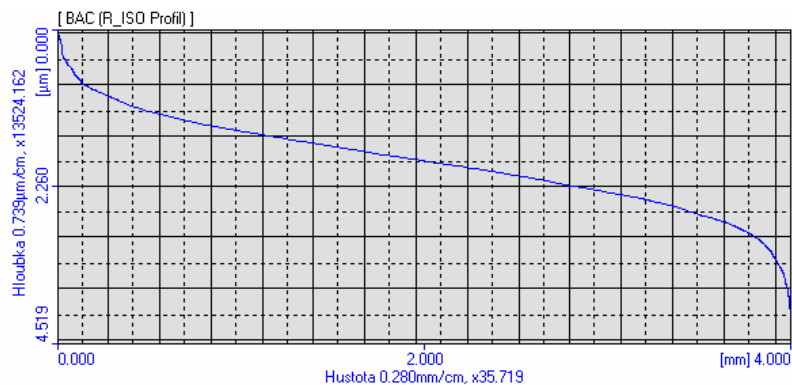
2. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0E



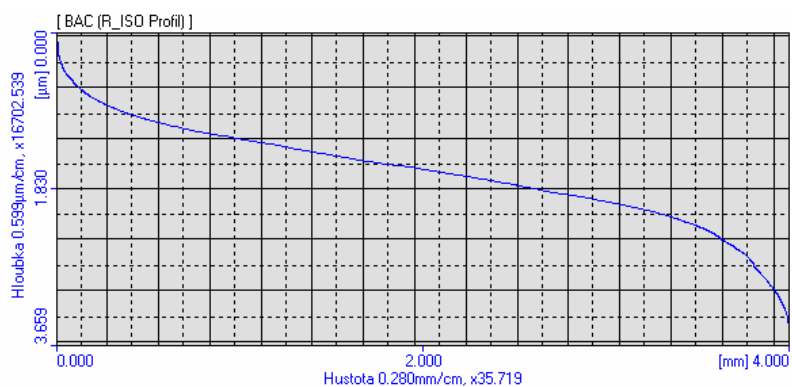
3. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0E



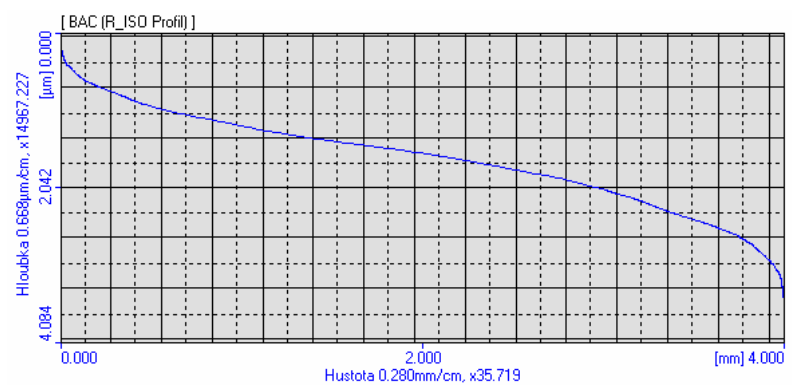
4. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0E



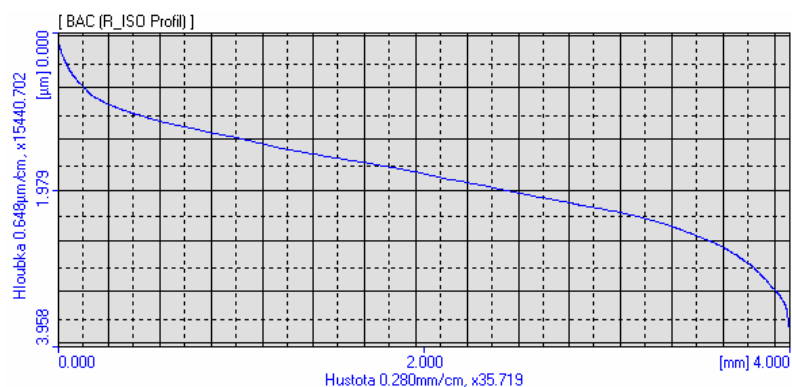
5. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0E



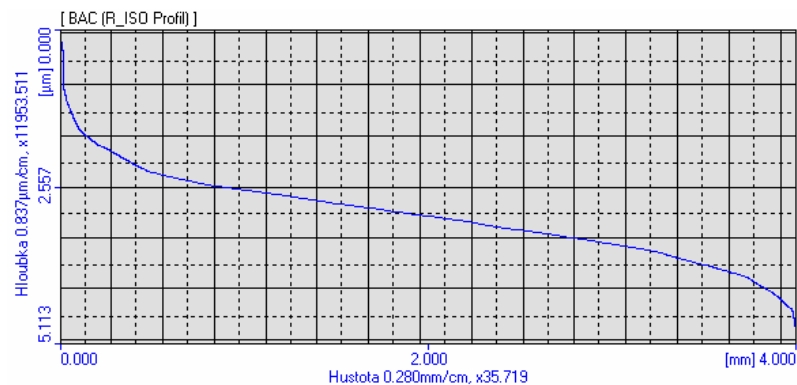
6. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0E



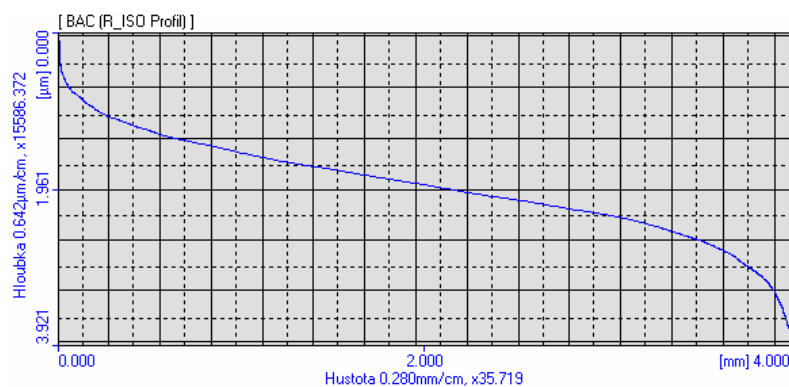
7. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0E



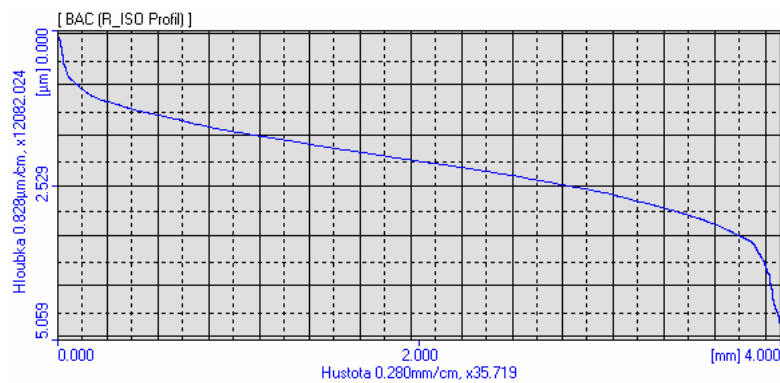
8. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0E



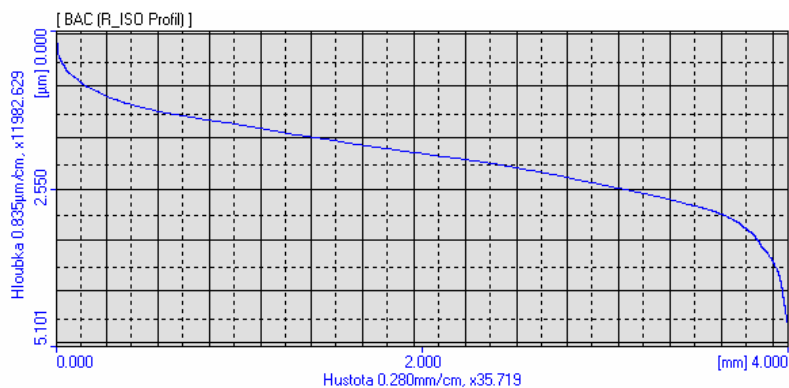
9. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0E



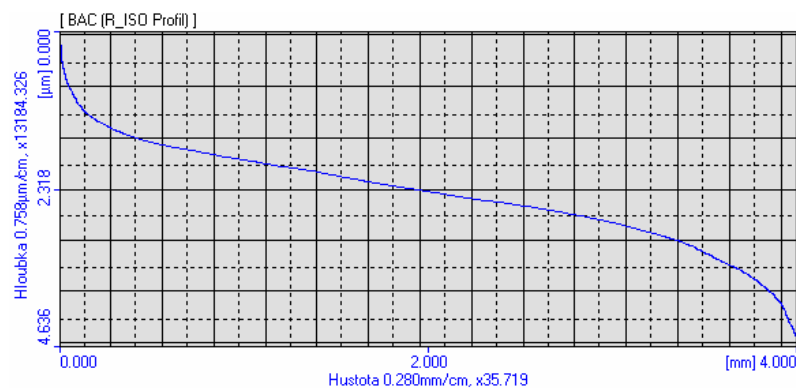
10. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0E



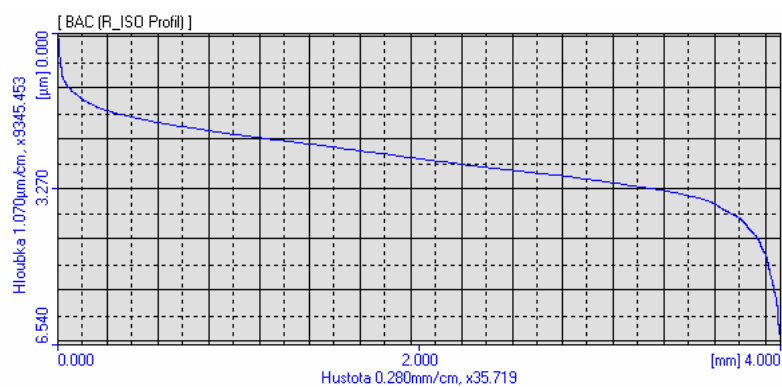
1. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0D



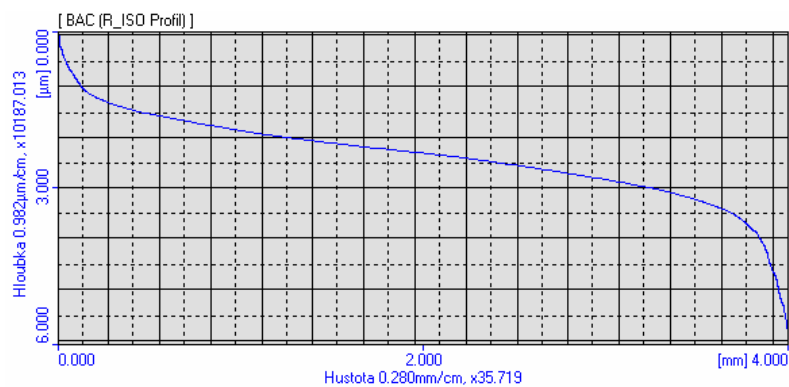
2. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0D



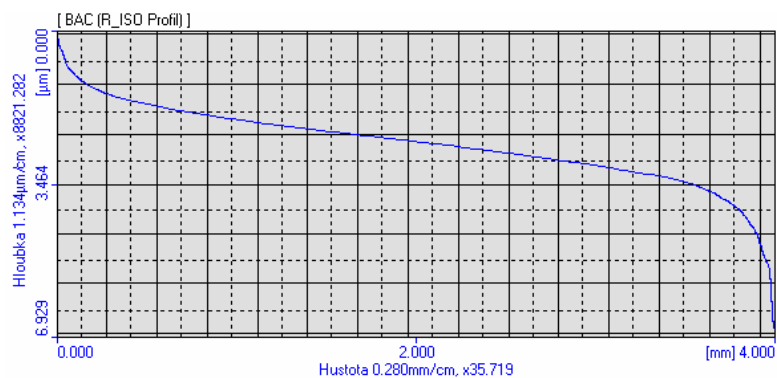
3. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0D



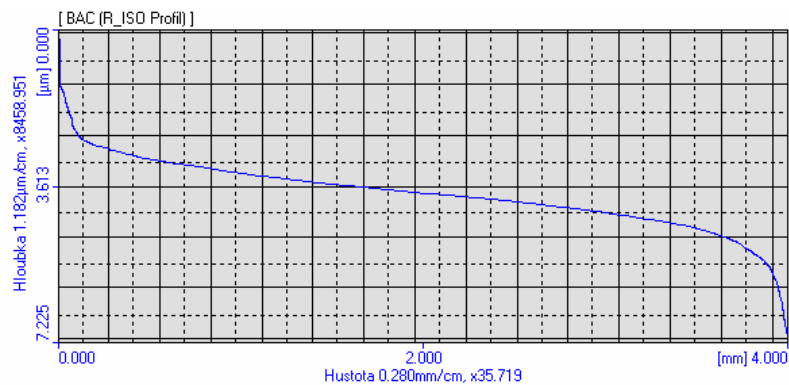
4. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0D



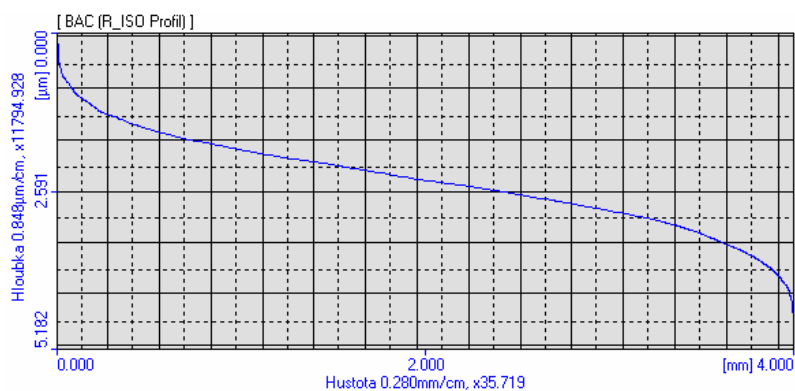
5. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0D



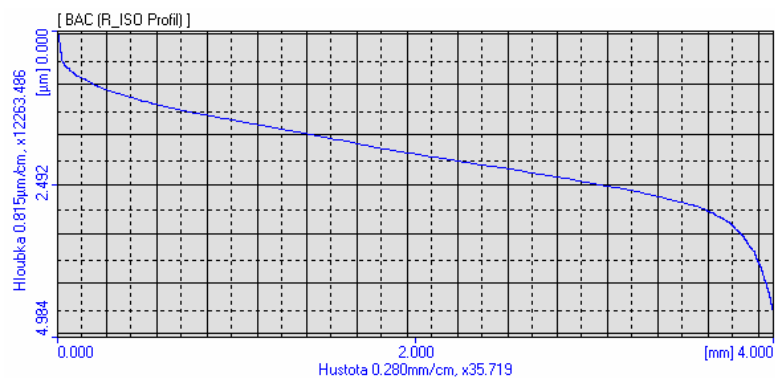
6. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0D



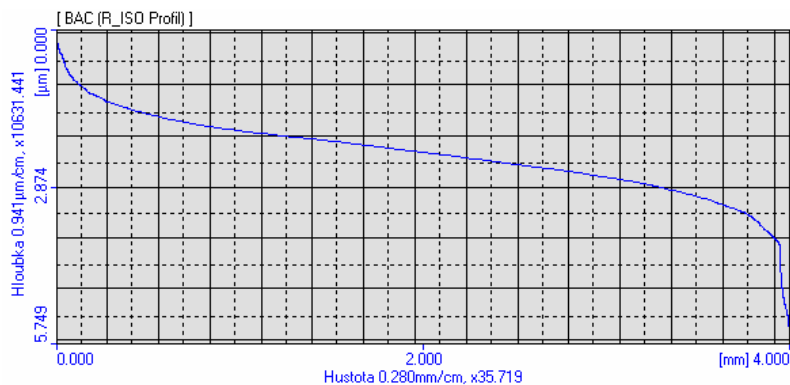
7. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0D



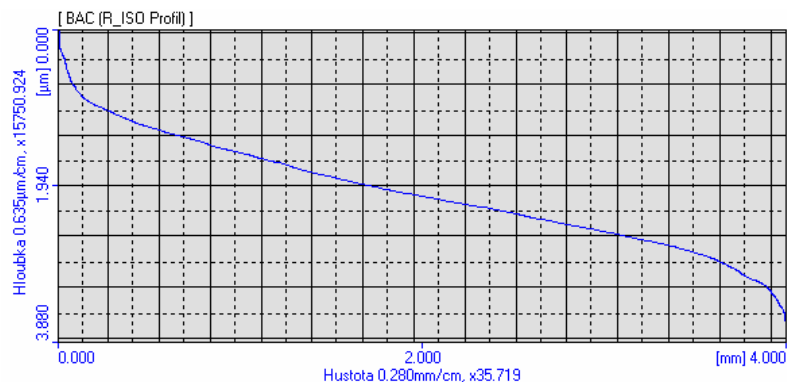
8. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0D



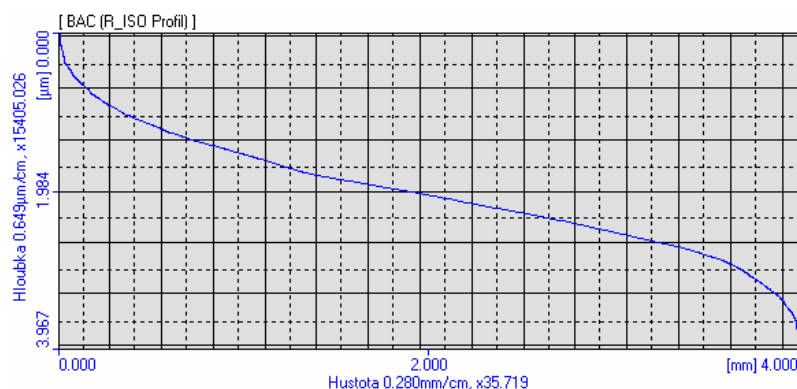
9. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0D



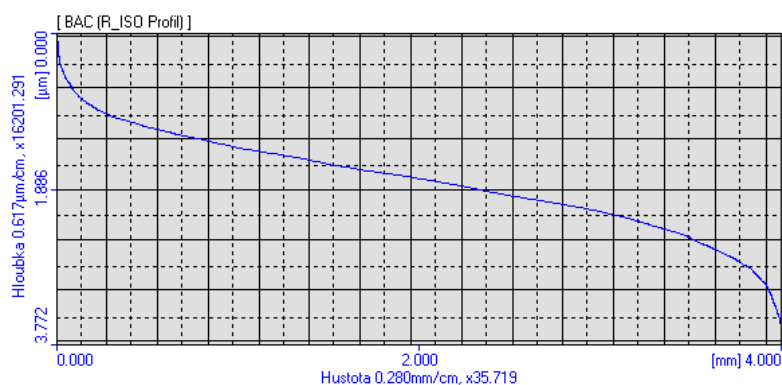
10. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.0D



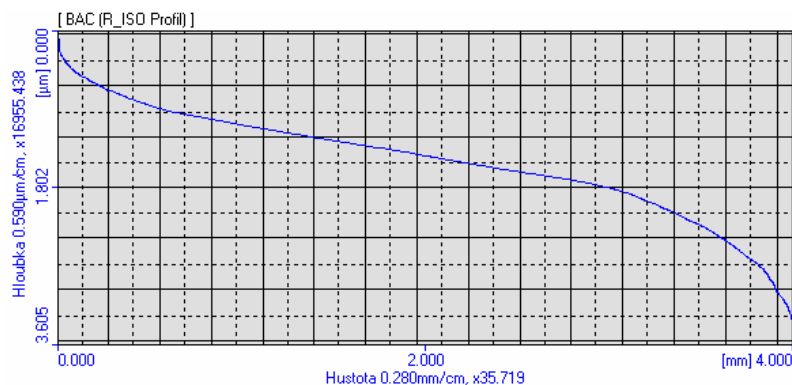
1. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1B



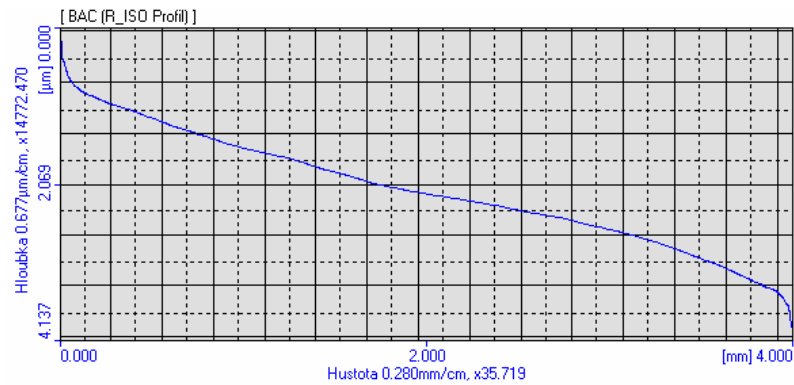
2. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1B



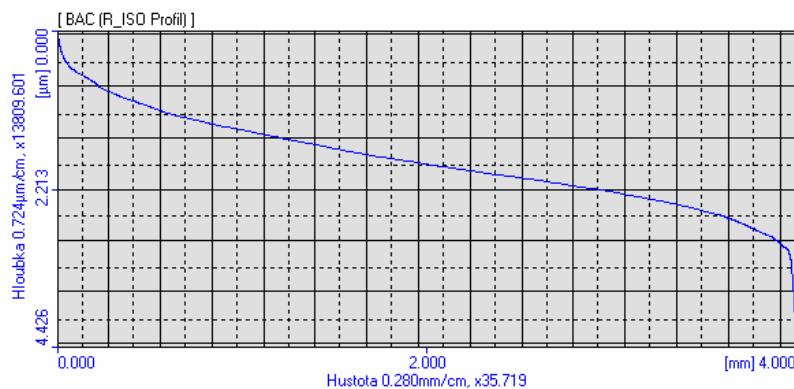
3. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1B



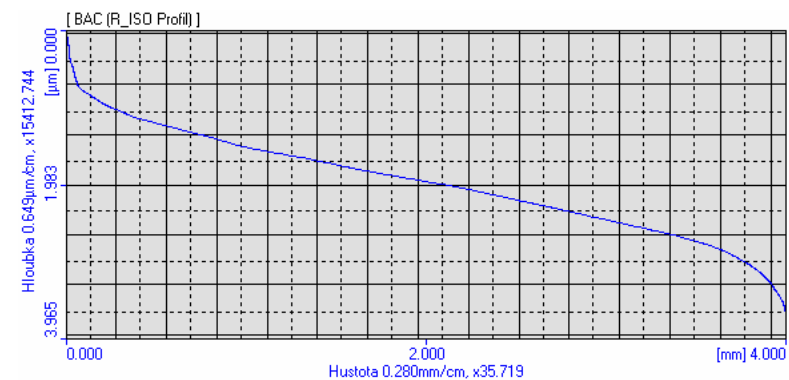
4. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1B



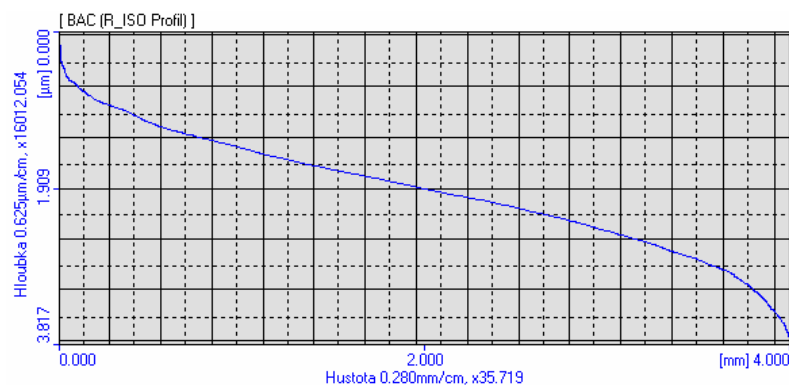
5. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1B



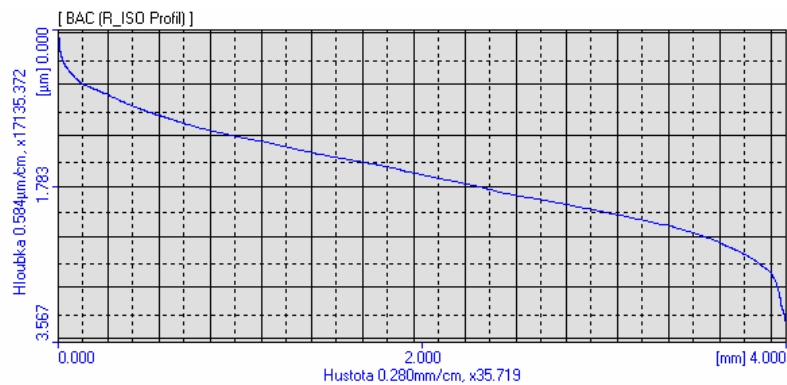
6. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1B



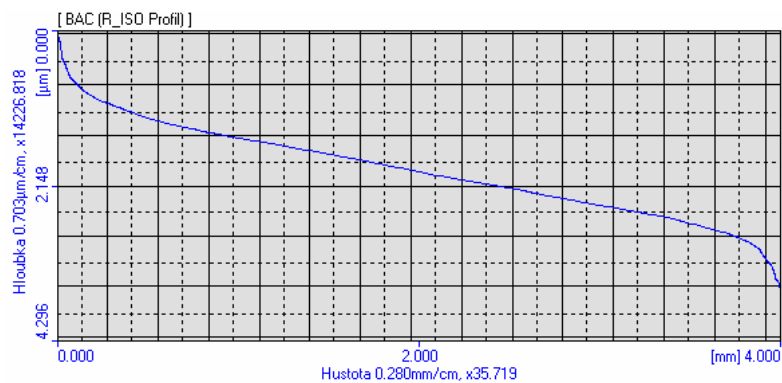
7. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1B



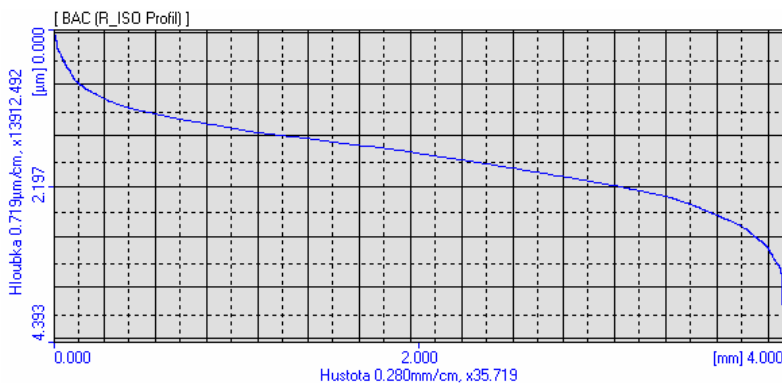
8. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1B



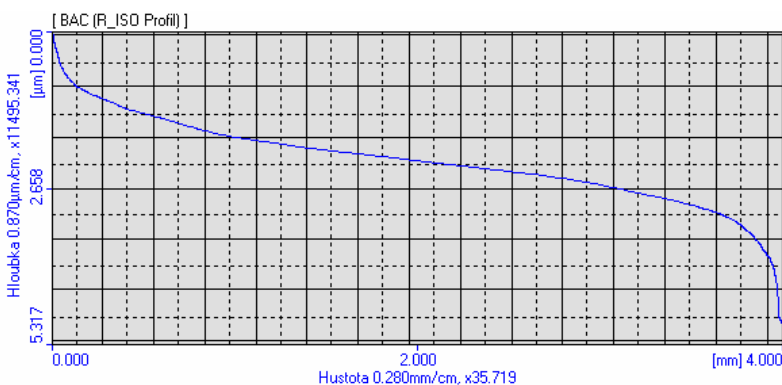
9. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1B



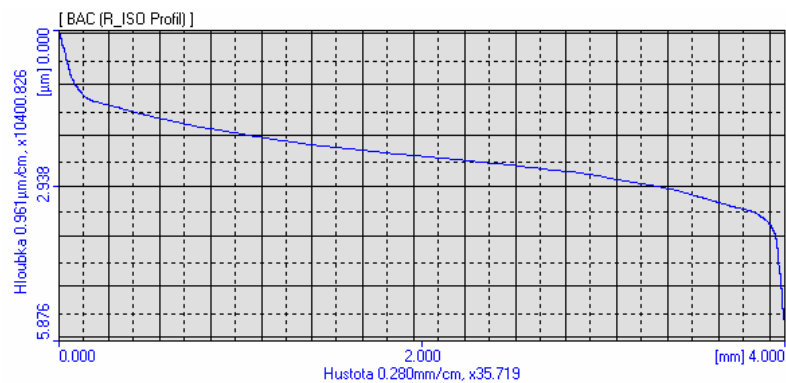
10. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1B



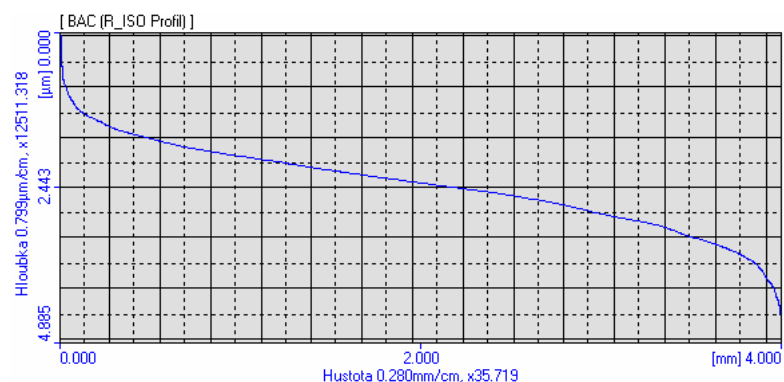
1. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1F



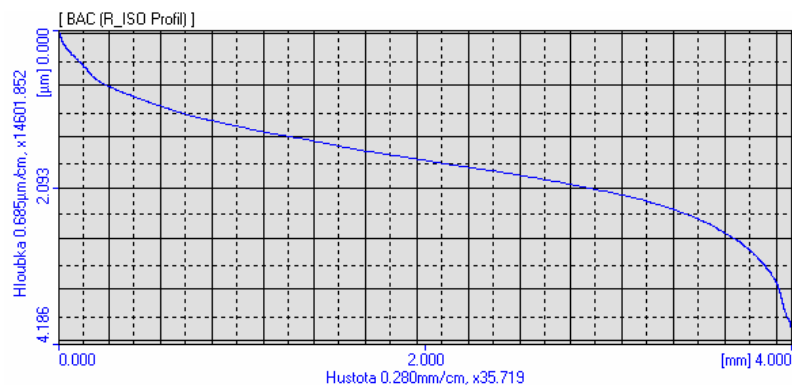
2. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1F



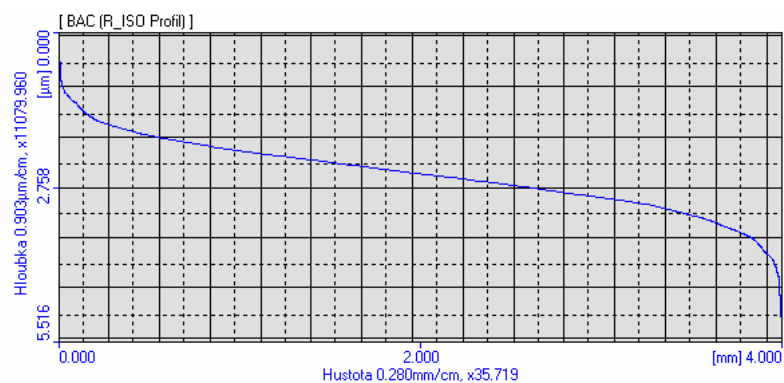
3. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1F



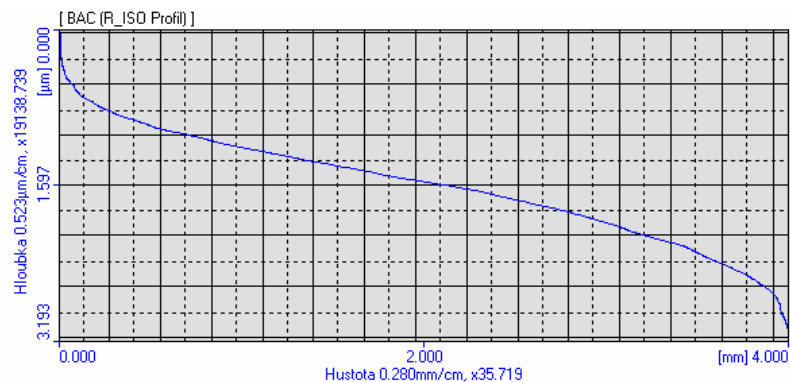
4. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1F



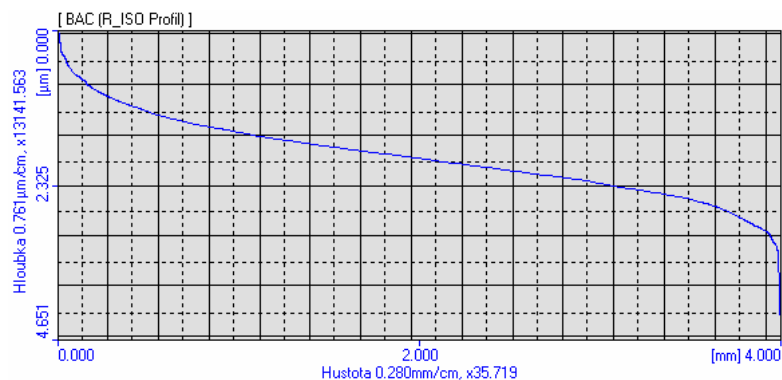
5. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1F



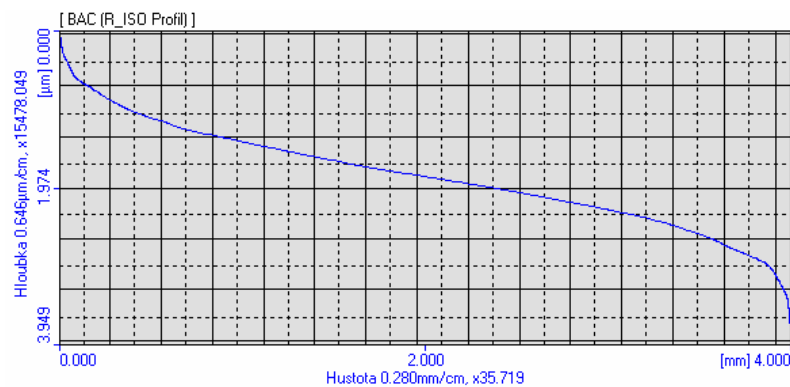
6. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1F



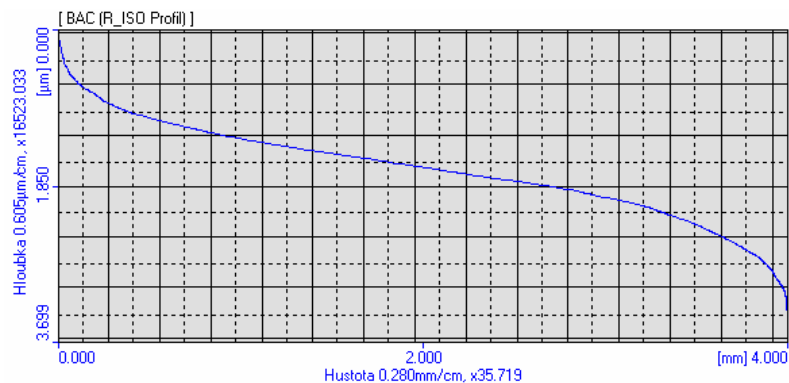
7. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1F



8. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1F



9. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1F



10. Abbotova křivka úseku vytvořeném soustružením s přívodem PK ESOK 1.1F